

**Kinerja Saluran Drainase Terhadap Genangan Air Pada Bahu
Jalan D. I. Panjaitan Menuju Bundaran Pesawat Lepo-Lepo**

Fathur Rahman Rustan, Erika Aprianti, Ahmad Taufik Abdullah, Retno Puspaningtyas

**Perbandingan Karakteristik Pengujian Marshall Campuran Aspal Beton
Dengan *Filler* Pasir Besi Dan Abu Batu**

Hery Awan Susanto

**Analisis Numeris Menggunakan *Agent Based Modelling* Untuk Evakuasi
Bencana Tsunami Gedung I Universitas Bengkulu, Indonesia**

Fitria Nabila, Hardiansyah, Lindung Zalbuin Mase

**Estimasi Gaya Tarik pada Kabel Jembatan *Cable Stayed*
dengan Pengujian Dinamik**

Hinawan Teguh Santoso

Pemanfaatan GGBFS sebagai Bahan Tambah Aduk Mortar

Nursyafril, Muhammad Taufan

Tingkat Kerentanan Tepian Sungai Kayan Terhadap Bencana Banjir

Hendra Julianto, Enny Harviyanti

Peramalan Indeks Kekeringan Kelayang Menggunakan Metode Sarima dan SPI

Widdy Rahmalina, Novreta

**Konservasi Air di Provinsi Kalimantan Utara
(Studi Potensi Embung di Kabupaten Bulungan)**

Enny Harviyanti, Zainal Abidin, Nofrizal

**Pemanfaatan Limbah Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat
pada Campuran AC-WC**

Ahmad Maulana, Megah Amaliah, Retno Utami

Respon Struktur Bangunan dengan *Floating Column* Akibat Beban Gempa

Ferdin Satria Anggriawan, Anis Rosyidah

Potensi: Jurnal Sipil Politeknik terakreditasi sebagai **Jurnal Ilmiah Terakreditasi Peringkat 4** berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia **Nomor: 23/E/KPT/2019**, tanggal 8 Agustus 2019, tentang Hasil Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode 4 Tahun 2019.

Terbit: 2 kali dalam satu tahun (Maret dan Oktober)

POTENSI: Jurnal Sipil Politeknik

Online ISSN: 2580-8133

Print ISSN: 1411-2949

PENERBIT:

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung

PENYUNTING PELAKSANA:

Ketua:

Ambar Susanto, ST., MT.

Anggota:

Dr. Yackob Astor, ST. MT.

Retno Utami, SST., MT.

Aditia Febriansya, SST., M.Tr.T.

PENYUNTING AHLI:

Dr. Ir. Bambang Setio Budianto, M.Sc. (Politeknik Negeri Bandung)

Ir. Jul Endawati, M.Sc. (Politeknik Negeri Bandung)

Dr. Mardiana Oesman, BSCE., MT. (Politeknik Negeri Bandung)

Dr. Ir. Riawan Gunadi, MT. (Politeknik Negeri Bandung)

Ir. Suherman Sulaeman, M.Sc., Ph.D (Politeknik Negeri Bandung)

Dr. Yackob Astor, ST., MT. (Politeknik Negeri Bandung)

Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, MT. (Politeknik Negeri Semarang)

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT. (Universitas Islam Sultan Agung)

Prof. Dr. Ir. Jonie Tanijaya, M.Sc. (Universitas Kristen Indonesia Paulus)

ALAMAT PENYUNTING:

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung,
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40012 Kotak Pos 1234

Website: <https://www.polban.ac.id>

Telp/Fax: (022) 2013789 / (022) 2013889

E-mail: potensi@polban.ac.id

Daftar Isi

- ❑ Daftar Isi

- ❑ Pengantar Redaksi

- ❑ Kinerja Saluran Drainase Terhadap Genangan Air Pada Bahu Jalan D. I. Panjaitan Menuju Bundaran Pesawat Lepo-Lepo
Fathur Rahman Rustan, Erika Aprianti, Ahmad Taufik Abdullah, Retno Puspaningtyas..... 1-12

- ❑ Perbandingan Karakteristik Pengujian Marshall Campuran Aspal Beton Dengan *Filler* Pasir Besi Dan Abu Batu
Hery Awan Susanto..... 13-20

- ❑ Analisis Numeris Menggunakan *Agent Based Modelling* Untuk Evakuasi Bencana Tsunami Gedung I Universitas Bengkulu, Indonesia
Fitria Nabila, Hardiansyah, Lindung Zalbuin Mase..... 21-32

- ❑ Estimasi Gaya Tarik Pada Kabel Jembatan *Cable Stayed* Dengan Pengujian Dinamik
Hinawan Teguh Santoso..... 33-43

- ❑ Pemanfaatan GGBFS Sebagai Bahan Tambah Aduk Mortar
Nursyafri, Muhammad Taufan..... 44-54

- ❑ Tingkat Kerentanan Tepian Sungai Kayan Terhadap Bencana Banjir
Hendra Julianto, Enny Harviyanti..... 55-63

- ❑ Peramalan Indeks Kekeringan Kelayang Menggunakan Metode Sarima dan SPI
Widya Rahmalina, Novreta..... 64-75

- ❑ Konservasi Air di Provinsi Kalimantan Utara (Studi Potensi Embung Di Kabupaten Bulungan)
Enny Harviyanti, Zainal Abidin, Nofrizal..... 76-86

- ❑ Pemanfaatan Limbah Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat Pada Campuran AC-WC
Ahmad Maulana, Megah Amaliah, Retno Utami..... 87-95

- ❑ Respon Struktur Bangunan Dengan *Floating Column* Akibat Beban Gempa
Ferdin Satria Anggriawan, Anis Rosyidah..... 96-103

- ❑ Pedoman Penulisan Artikel

Pengantar Redaksi

Puji syukur atas karunia Tuhan Yang Maha Esa dengan rahmat dan berkah-Nya yang melimpah mendatangkan pada kami kemampuan menerbitkan edisi Volume 22 Nomor 1, Maret 2020 ini. Tradisi keilmiahan di lingkungan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung semoga tetap terjaga dan berkembang dengan hadirnya jurnal ini.

Beragam topik tersaji pada 10 artikel yang kami muat dalam volume ini, semoga bermanfaat bagi para pembaca. Redaksi mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta atas terbitnya edisi ini. Kritik dan saran kami akan nantikan, karena akan menjadi modal bagi perbaikan pada edisi berikutnya dan untuk kebaikan di waktu mendatang. Semoga jurnal ini semakin meningkat kualitasnya dan memperkaya khazanah ilmu pengetahuan.

Redaksi Potensi

Kinerja Saluran Drainase Terhadap Genangan Air Pada Bahu Jalan D. I. Panjaitan Menuju Bundaran Pesawat Lepo-Lepo

Fathur Rahman Rustan¹, Erika Aprianti², Ahmad Taufik Abdullah³, Retno Puspaningtyas⁴

^{1,4} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, 93517

^{2,3} Program Studi D-III Teknik Sipil, Program Pendidikan Vokasi, Universitas Halu Oleo, 93232

E-mail : ur_mantan@usn.ac.id

ABSTRAK

Wilayah kelurahan Wundudopi tepatnya pada ruas jalan D. I. Panjaitan menuju sekitar Bundaran Pesawat Kota Kendari mempunyai persoalan kinerja saluran drainase yang menyebabkan adanya genangan air pada bahu maupun badan jalan yang dapat mengganggu aktivitas masyarakat serta arus lalu lintas di saat musim hujan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja saluran drainase terhadap genangan air pada bahu jalan di kelurahan Wundudopi. Dalam menganalisis kinerja saluran drainase dilakukan analisis frekuensi dan probabilitas dengan berbagai kala ulang hujan menggunakan metode Distribusi Normal, Log Normal, Log-Person III, dan Gumbel serta analisis kapasitas tampung saluran yang dilakukan berdasarkan debit rencana, kemudian di dapatkan dimensi saluran rencana dan kapasitas tampungnya. Setelah itu, kapasitas tampung saluran drainase rencana kemudian dibandingkan dengan kapasitas tampung saluran eksisting berdasarkan dimensi saluran eksisting yang ada. Berdasarkan perhitungan dan kondisi eksisting di lapangan diperoleh hasil bahwa saluran drainase yang nilai kapasitas tampung saluran rencananya lebih besar dibandingkan kapasitas tampung saluran eksisting yaitu: S5. Selain persoalan kapasitas tampung saluran ada beberapa faktor yang menjadi penyebab adanya genangan air yaitu: pola aliran, sistem gorong-gorong, sedimentasi, sampah, rerumputan, dan dimensi yang rusak. Diperlukan solusi terhadap permasalahan yang ada dengan cara perubahan dimensi saluran, dan adanya normalisasi saluran secara berkala.

Kata Kunci: Kinerja Saluran Drainase, Genangan Air, Bahu Jalan

1. PENDAHULUAN

Drainase secara umum didefinisikan sebagai usaha mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu. Dalam bidang teknik sipil, drainase secara umum didefinisikan sebagai salah satu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan. Jika dalam penanganan drainase kurang baik, maka akan mengakibatkan terjadinya genangan air pada daerah sekitar saluran drainase tersebut. Permasalahan terkait dengan saluran drainase yang kurang baik banyak terjadi di kota-kota besar khususnya di Kota Kendari.

Baruga salah satu kecamatan di Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara dengan luas wilayah ± 49.15 km², terdiri dari 4 Kelurahan. Dilihat dari letak astronomi terletak pada 3°59'47" dan 4°5'01" Lintang Selatan (LS) dan membentang dari Barat ke Timur di antara 122°26'37" dan 122°32'57" Bujur Timur (BT). Sebagaimana daerah-daerah lain di Indonesia, Kota Kendari hanya mengenal dua musim yakni musim kemarau dan musim hujan. Keadaan musim ini sangat dipengaruhi oleh arus angin yang bertiup di atas wilayahnya. Perbedaan ketinggian dari permukaan laut, daerah pegunungan dan daerah pesisir mengakibatkan sedikit perbedaan keadaan suhu udara untuk masing-masing tempat dalam suatu kawasan/wilayah. Secara keseluruhan, wilayah kota Kendari merupakan daerah bersuhu tropis.

Dengan intensitas curah hujan yang tinggi serta kondisi saluran drainase khususnya di kecamatan Baruga yang kurang baik dapat menyebabkan berbagai persoalan timbul yang nantinya akan merusak infrastruktur yang sudah ada. Kinerja saluran drainase di kecamatan Baruga, dinilai masih belum baik. Hal ini dapat terlihat dengan masih banyaknya daerah genangan air ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Artinya, fungsi dari sistem saluran drainase dalam mengalirkan air hujan ataupun genangan belum bekerja dengan baik.

Sejak beberapa bulan terakhir, sering terdapat genangan air di beberapa titik di kecamatan Baruga, salah satunya adalah wilayah kelurahan Wundudopi tepatnya pada ruas jalan D. I. Panjaitan menuju sekitar Bundaran Pesawat Kota Kendari. Hal ini menyebabkan ketidaknyamanan masyarakat pada saat melintasi jalan tersebut, selain itu dapat menyebabkan terancamnya permukiman warga sekitar dan infrastruktur perekonomian yang sudah ada. Oleh karena itu, perlu diadakan suatu analisa terkait dengan kinerja saluran drainase serta faktor-faktor penyebab terjadinya genangan air pada lokasi yang dimaksud.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Drainase Perkotaan

Merujuk referensi [1], Drainase berasal dari bahasa Inggris “*drainage*” yang mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Secara umum, sistem drainase dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Sistem drainase terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*) dan bagian penerima air (*receiving waters*).

Drainase perkotaan/terapan merupakan sistem pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi :

1. Permukiman;
2. Kawasan industri dan perdagangan;
3. Kampus dan sekolah;
4. Rumah sakit dan fasilitas umum;
5. Lapangan olahraga;
6. Lapangan parkir;
7. Instalasi militer, listrik, telekomunikasi;
8. Pelabuhan udara.

Kriteria desain drainase perkotaan memiliki kekhususan, sebab untuk perkotaan ada tambahan variabel desain seperti :

1. Keterkaitan dengan tata guna lahan;
2. Keterkaitan dengan masterplan drainase kota;
3. Keterkaitan dengan masalah sosial budaya [2].

2.2. Drainase Menanggulangi Genangan Banjir

Di musim penghujan di Indonesia dan negara didunia selalu dilanda banjir. Banjir yang menyebabkan genangan ini sebagai akibat dari curah hujan dan intensitas hujan yang tinggi.

Pada umumnya banjir diakibatkan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Banjir akibat air laut pasang;
Kota dengan lokasi di tepi pantai jika air laut pasang, maka umumnya air akan menggenangi area pantai. Jika alat-alat sistem drainase kota berfungsi dengan baik, pada waktu air laut surut genangan akan tertanggulangi.
2. Banjir akibat kota dilanda hujan.
 - a. Jika area kota di tepi pantai dilanda hujan dengan curah hujan dan intensitas hujan sangat tinggi yang umumnya terjadi pada waktu musim hujan, jika air laut sedang atau menjelang surut dan sistem drainase berfungsi dengan baik, air hujan akan segera mengalir ke laut dengan baik dan jika air laut sedang pasang akan terjadi genangan sementara sampai air laut surut.
 - b. Jika kota di area dataran dilanda hujan dengan curah hujan dan intensitas hujan sangat tinggi yang umumnya terjadi pada saat musim hujan, jika sistem drainase berfungsi dengan baik, air hujan akan mengalir melalui saluran drainase dan air meresap ke dalam tanah di area terbuka di perkotaan dan ke dalam sumur-sumur peresapan.
 - c. Jika kota di area tepi pantai atau di area dataran dilanda hujan dengan curah hujan dan intensitas yang sangat tinggi, mendapat aliran air kiriman dari sisi atas kota dengan dataran yang lebih tinggi, kota akan mendapatkan banjir kiriman. Jika kota tidak dilintasi sungai, air akan mengalir di area kota, akan menggenangi dan membanjiri kota, sedangkan kota yang dilintasi sungai maka aliran air akan mengalir ke dalam sungai dan jika sungai tidak dapat menampung volume banjir, akan terjadi genangan dan banjir [2].

2.3. Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah: (a) Distribusi Normal, (b) Distribusi Log Normal, (c) Distribusi Log-Person III, (d) Distribusi Gumbel dengan menggunakan berbagai kala ulang hujan (T) 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun.

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien *skewness* (kecondongan atau kemencengan).

Tabel 1. Parameter statistik yang penting

Parameter	Sampel
Rata – rata	$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i$ (1)
Simpangan baku	$S = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ (2)
Koefisien variasi/keragaman	$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$ (3)
Koefisien <i>skewness</i>	$C_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3}$ (4)
Koefisien <i>kurtosis</i>	$C_k = \frac{n^2 \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot S^4}$ (5)

2.3.1. Distribusi Normal

Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi Gauss. Fungsi densitas peluang normal (PDF = *probability density function*) yang paling dikenal adalah bentuk *bell* dan dikenal sebagai distribusi normal. Rumus-rumus distribusi normal dapat didekati dengan :

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \quad (6)$$

keterangan :

- X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan;
- \bar{X} = Nilai rata-rata hitungan variat (X_i);
- S = Deviasi standar nilai variat;
- K_T = Faktor frekuensi, nilainya bergantung dari T. Nilai koefisien untuk distribusi Normal berdasarkan nilai variabel reduksi Gauss (*variable reduced Gauss*) dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai variabel reduksi Gauss

	Periode Ulang, T (tahun)					
n	2	5	10	25	50	100
K_T	0.00	0.84	1.28	1.71	2.05	2.33

2.3.2. Distribusi Log Normal

Jika variabel acak $Y = \text{Log } X$ terdistribusi secara normal, maka X dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. PDF (*probability density function*) untuk distribusi Log Normal dapat dituliskan dalam bentuk:

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K_T \cdot S \quad (7)$$

keterangan :

- $\text{Log } X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang T;
- $\text{Log } \bar{X}$ = Nilai rata-rata logaritma;

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad (8)$$

- n = Lama pengamatan;
- $\text{Log } X_i$ = Nilai logaritma curah hujan;
- S = Standar deviasi;

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}} \quad (9)$$

- K_T = Faktor frekuensi, nilainya bergantung dari T. Nilai koefisien untuk distribusi Normal berdasarkan nilai variabel reduksi Gauss (*variable reduced Gauss*) dapat dilihat pada tabel 2;
- C_s = Koefisien *skewness*;

$$C_s = \frac{n \cdot \sum(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3} \quad (10)$$

C_k = Koefisien *kurtosius*;

$$C_k = \frac{n^2 \cdot \sum(\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^4}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot S^4} \quad (11)$$

C_v = Koefisien keragaman.

$$C_v = \frac{S}{\text{Log } \bar{X}} \quad (12)$$

2.3.3. Distribusi Log-Person III

Salah satu distribusi dari serangkaian distribusi yang dikembangkan Person yang menjadi perhatian ahli sumber daya air adalah *Log-Person Type III* (LP.III). Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus:

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + K \cdot S \quad (13)$$

keterangan :

- $\text{Log } X_T$ = Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang T;
- $\text{Log } \bar{X}$ = Nilai rata-rata logaritma curah hujan (gunakan persamaan 8);
- S = Standar deviasi (gunakan persamaan 9);
- C_s = Koefisien *skewness* (gunakan persamaan 10);
- C_k = Koefisien *kurtosius* (gunakan persamaan 11);
- C_v = Koefisien keragaman (gunakan persamaan 12);
- K = Variabel standar (*standardized variable*) untuk X yang besarnya tergantung koefisien *skewness*. Harga K untuk berbagai nilai koefisien *skewness* dapat dilihat pada rujukan [3].

2.3.4. Distribusi Gumbel

Gumbel menggunakan harga ekstrem untuk menunjukkan bahwa dalam deret harga-harga ekstrem mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda. Apabila jumlah populasi yang terbatas (sampel), maka dapat didekati dengan persamaan:

$$X_T = \bar{X} + S \cdot K \quad (14)$$

keterangan :

- X_T = Hujan rencana atau debit dengan periode ulang T;
- \bar{X} = Nilai rata-rata sampel;
- S = Standar deviasi (simpangan baku) sampel (gunakan persamaan 2);
- K = Faktor probabilitas untuk harga-harga ekstrem Gumbel;

$$K = \frac{Y_{T_r} \cdot Y_n}{S_n} \quad (15)$$

Y_{T_r} = *Reduced variated*, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Y_{T_r} = -\ln \left\{ -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \quad (16)$$

- Y_n = *Reduced mean* yang bergantung jumlah sampel/data n;
- S_n = *Reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel/data n;
- T_r = Periode ulang (tahun).

2.4. Penentuan Jenis Distribusi

Penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter statistik dengan syarat masing-masing jenis distribusi [3].

Tabel 3. Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi

No.	Distribusi	Persyaratan
1.	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2.	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3.	Gumbel	$C_s = 1.14$ $C_k = 5.40$
4.	Log Person III	Selain dari nilai di atas, $C_s \neq 0$

2.5. Pengujian Kecocokan

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fittest test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah (1) Chi-Kuadrat, dan (2) Smirnov-Kolmogorov.

2.6. Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Nilai intensitas hujan tergantung lama curah hujan dan frekuensi hujan dan waktu konsentrasi. Intensitas hujan dianalisis dari data hujan secara empiris atau secara statistik. Kurva intensitas hujan rencana, jika yang tersedia adalah hujan harian, dapat ditentukan dengan Metode Mononobe. Bentuk umum dari Rumus Mononobe adalah :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{T}\right)^{2/3} \tag{17}$$

- I = Intensitas hujan rencana (mm/jam);
- R₂₄ = Curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm);
- T = Durasi hujan atau waktu konsentrasi (jam). [4], [5]

2.7. Perkiraan Laju Aliran Puncak

Ada beberapa metode untuk memperkirakan laju aliran puncak (debit banjir). Metode yang dipakai pada suatu lokasi lebih banyak ditentukan oleh ketersediaan data. Metode untuk memperkirakan laju aliran permukaan puncak yang umum dipakai adalah metode Rasional USSCS (1973). Persamaan matematik metode Rasional [6] dinyatakan dalam bentuk:

$$Q_p = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \tag{18}$$

Di mana Q_p adalah debit puncak banjir dalam m³/detik, C adalah koefisien limpasan, I adalah intensitas hujan selama waktu konsentrasi dalam mm/jam dan A adalah luas daerah aliran dalam hektar.

Jika suatu daerah aliran terdiri atas berbagai macam tata guna lahan dengan koefisien pengaliran yang berbeda-beda, maka nilai C dapat dihitung dengan persamaan 19

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{19}$$

keterangan :

- C_i : Koefisien limpasan jenis penutup tanah i;
- A_i : Luas lahan dengan jenis penutup tanah i (ha);
- n : Jumlah jenis penutup lahan.

2.8. Bentuk Saluran yang Paling Ekonomis

Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewatkan debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum. Bentuk penampang saluran ini mengacu pada pedoman Standar Nasional Indonesia (SNI 03-3424-1994). Bentuk saluran yang umum digunakan di lapangan yaitu bentuk trapesium. Adapun persamaan-persamaan yang digunakan adalah:

$$A = (b + m \cdot h) \cdot h \tag{20}$$

$$P = b + 2h \sqrt{1 + m^2} \tag{21}$$

$$R = \frac{A}{P} \tag{22}$$

keterangan :

- A : Luas tampang basah saluran (m²)
- P : Keliling tampang basah saluran
- R : Jari-jari hidrolis (m)
- b : Lebar dasar saluran (m)
- h : Tinggi air normal di saluran (m)
- m : Kemiringan tebing saluran (m)

Sumber rujukan [7], [8], menyatakan bahwa penampang trapesium yang paling efisien adalah jika kemiringan dindingnya, $m = \frac{1}{\sqrt{3}}$ atau $\theta = 60^\circ$, Trapesium yang terbentuk berupa setengah segienam beraturan (heksagonal) dan didapatkan persamaannya adalah sebagai berikut :

$$A = h^2 \sqrt{3} \tag{23} \qquad R = \frac{h}{2} \tag{25}$$

$$P = 2h \sqrt{3} \tag{24} \qquad b = \frac{2}{3} h \sqrt{3} \tag{26}$$

3. METODE

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada ruas jalan D. I. Pandjaitan menuju ke bundaran pesawat Lepo-Lepo, Kel. Wundudopi, Kec. Baruga, Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara. Lokasi ini merupakan langganan banjir setiap kali turun hujan. Adapun gambar untuk lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dengan arah tinjauan aliran air mengalir dari saluran S1 menuju saluran S5 serta foto terjadinya genangan air ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 1. Lokasi Penelitian



Gambar 2. Salah satu titik terjadinya luapan air



Gambar 3. Titik luapan air area Bundaran Pesawat

3.2 Teknik Analisis Data

Dalam menganalisis kinerja saluran terhadap genangan air, maka dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a) Analisis frekuensi dan probabilitas;
- b) Penentuan jenis distribusi;
- c) Pengujian kecocokan;
- d) Perkiraan laju aliran puncak;
- e) Perhitungan saluran yang paling ekonomis;
- f) Analisis kapasitas tampung saluran dengan membandingkan antara saluran drainase rencana dan saluran drainase eksisting.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Distribusi Probabilitas

Dalam analisis distribusi probabilitas, data curah hujan yang digunakan adalah data tahun 2002 sampai tahun 2016 pada Stasiun Kota Kendari dan diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi IV Provinsi Sulawesi Tenggara. Data curah hujan periode 2002 – 2016 digunakan karena pada saat penelitian ini dilakukan hanya periode data tersebut yang tersedia dari pihak kantor penyedia data. Adapun data curah hujan maksimum yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Data Curah Hujan Maksimum

Tahun	Curah Hujan Maksimum Xi (mm)
2002	69.0
2003	67.0
2004	62.0
2005	63.0
2006	48.0
2007	42.0
2008	42.0
2009	94.0
2010	54.5
2011	38.2
2012	93.0
2013	117.0
2014	92.0
2015	65.0
2016	76.0

Penentuan jenis sebaran data yang akan digunakan maka terlebih dahulu dilakukan analisis parameter statistik. Setelah dilakukan analisis parameter statistik, dilanjutkan dengan menganalisis distribusi probabilitas menggunakan beberapa metode.

4.1.1. Distribusi Normal

Tabel 5. Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Metode Normal

T (tahun)	\bar{X} (mm)	S	K_T	X_T (mm)
2			0.00	68.180
5			0.84	87.277
10	68.180	22.734	1.28	97.280
25			1.71	107.055
50			2.05	114.785

4.1.2. Distribusi Log Normal

Tabel 6. Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Metode Log Normal

T (tahun)	Log \bar{X} (mm)	S	K_T	Log X_T (mm)	X_T (mm)
2			0.00	1.811	64.766
5			0.84	1.928	85.646
10	1.811	0.145	1.28	1.996	99.147
25			1.71	2.058	114.396
50			2.05	2.108	128.095

4.1.3. Distribusi Log Person III

Tabel 7. Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Metode Log Person III

T (tahun)	Log \bar{X} (mm)	S	C_s	K	Log X_T (mm)	X_T (mm)
2				-0,0044	1.811	64.672
5				0,8404	1.933	85.658
10	1.811	0.145	0.0264	1,2845	1.997	99.296
25				1,7598	2.066	116.308
50				2,0652	2.110	128.746

4.1.4. Distribusi Gumbel

Tabel 8. Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Metode Gumbel

T (tahun)	Y_{Tr}	S_n	Y_n	K	S	\bar{X} (mm)	X_T (mm)
2	0.3668			-0.1431			64.928
5	1.5004			0.9677			90.179
10	2.2510	1.0206	0.5128	1.7031	22.7342	68.180	106.899
25	3.1993			2.6323			129.023
50	3.9028			3.3216			143.693

4.2 Analisis Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Sebelum melakukan uji kesesuaian distribusi terlebih dahulu membandingkan nilai hitung pada parameter statistik dengan syarat-syarat yang ada berdasarkan tabel parameter statistik untuk menentukan jenis sebaran sebagai berikut pada tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Syarat Distribusi dan Hasil Perhitungan

No.	Distribusi	Persyaratan	Hasil Perhitungan	Keterangan
1.	Gumbel	$C_s = 1.14$ $C_k = 5.40$	$C_s = 0.623$ $C_k = 3.386$	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi
2.	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$	$C_s = 0.623$ $C_k = 3.386$	Tidak Memenuhi Tidak Memenuhi

No.	Distribusi	Persyaratan	Hasil Perhitungan	Keterangan
3.	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v = 0.240$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 = 3.102$	$C_s = 0.026$ $C_k = 2.789$	Tidak Memenuhi Mendekati
4.	Log-Person III	Selain dari nilai diatas, $C_s \neq 0$	$C_s = 0.026$	Memenuhi

Dari keempat metode yang digunakan di atas yang memenuhi persyaratan adalah sebaran log person III dengan nilai $C_s = 0.026$ memenuhi persyaratan $C_s \neq 0$. Dari sebaran yang telah memenuhi syarat tersebut perlu diuji kecocokan sebarannya dengan beberapa metode yaitu uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov. Hasil uji kecocokan sebaran menunjukkan distribusinya dapat diterima atau tidak. Berdasarkan pengujian data dengan uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov, maka didapatkan curah hujan yang terpilih yaitu curah hujan metode Log-Person III.

4.3 Analisa Debit dan Dimensi Saluran Drainase Rencana

Setelah menghitung nilai intensitas curah hujan, koefisien limpasan gabungan (C_{gab}), dan memperoleh nilai luasan (A) dari hasil penggambaran AutoCad, selanjutnya menghitung debit rencana. Adapun nilai debit rencana dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Debit Rencana pada Saluran Drainase

Saluran	I (mm/jam)	$C_{gabungan}$	A_{total} (km ²)	Q (m ³ /det)
S1	125.6720	0.472	0.0605	0.9969
S2	130.8715	0.335	0.0469	0.5712
S3	158.5289	0.380	0.0618	1.0341
S4	215.3338	0.302	0.0100	0.1806
S5	115.4118	0.461	0.0717	1.0597

Dari hasil perhitungan debit rencana yang ditunjukkan pada Tabel 10, bahwa debit terbesar yang masuk ke dalam saluran terjadi pada saluran S5 yaitu sebesar 1.0597 m³/det, sedangkan yang terkecil terjadi pada saluran S2 yaitu 0.5712 m³/det. Dalam perhitungan debit rencana yang dihasilkan berupa debit dari air hujan saja tanpa adanya tambahan dari debit air limbah masyarakat, hal tersebut dikarenakan dalam penelitian ini dirancang hanya memperhitungkan dari intensitas hujan saja tanpa adanya pengaruh dari limbah masyarakat di lokasi studi.

Bentuk saluran yang direncanakan adalah berbentuk trapesium, perencanaan dilakukan dengan menggunakan prinsip penampang ekonomis dengan analisis dimensi saluran drainase dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Dimensi Saluran Drainase Rencana

Saluran	Tipe	Q (m ³ /det)	S	Dimensi Rencana		
				b (m)	h (m)	H (m)
S1	Trapesium	0.9969	0.0060	0.73	0.63	0.83
S2	Trapesium	0.5712	0.0102	0.54	0.46	0.66
S3	Trapesium	1.0341	0.0099	0.67	0.58	0.78
S4	Trapesium	0.1806	0.0164	0.32	0.28	0.48
S5	Trapesium	1.0597	0.0028	0.86	0.75	0.95

Tabel 11 menunjukkan dimensi rencana saluran S1 – saluran S5 dengan dasar saluran (b) antara 0.32 m – 0.86 m, tinggi muka air (h) berkisar antara 0.28 m – 0.75 m.

4.4 Perbandingan Dimensi Saluran Drainase Rencana dan Saluran Drainase Eksisting

Perbandingan dimensi saluran drainase rencana dan saluran drainase eksisting bertujuan untuk mengetahui wilayah-wilayah pada segmen tinjauan yang mempunyai kapasitas tampung yang tidak sesuai antara hasil analisis dengan fakta yang ada di lapangan, maka perlu adanya penanganan lebih lanjut terkait dengan permasalahan yang terjadi sehingga persoalan tidak berdampak pada masyarakat sekitar area genangan air. Adapun perbandingan nilai dimensi saluran rencana dan saluran drainase eksisting dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan Dimensi Saluran Rencana dan Eksisting

Saluran	Rencana				Eksisting				Ket.	
	Tipe	b (m)	h (m)	H (m)	A (m ²)	Tipe	b (m)	H (m)		A (m ²)
S1	Trapesium	0.73	0.63	0.83	0.6935	Trapesium	0.55	0.63	0.7321	Aman
S2	Trapesium	0.54	0.46	0.66	0.3744	Trapesium	0.61	0.67	0.8647	Aman
S3	Trapesium	0.67	0.58	0.78	0.5899	Trapesium	0.57	0.59	0.6776	Aman
S4	Trapesium	0.32	0.28	0.48	0.1320	Trapesium	0.89	0.51	0.7140	Aman
S5	Trapesium	0.86	0.75	0.95	0.9695	Trapesium	0.78	0.64	0.9006	Tidak Aman

Tabel 12 menunjukkan terdapat saluran drainase yang masuk dalam kategori aman dan tidak aman, kategori aman menunjukkan bahwa luas penampang basah saluran drainase di lapangan/eksisting lebih besar dari luas penampang basah saluran drainase yang di rencanakan sedangkan kategori tidak aman di mana luas penampang basah saluran drainase di lapangan/eksisting lebih kecil dari luas penampang basah saluran yang direncanakan. Saluran S1 sampai dengan saluran S-4 masuk dalam kategori aman, hal ini ditunjukkan dengan nilai luasan (A) area rencana lebih kecil dibandingkan dengan luasan area eksisting. Sedangkan saluran S5 dalam kategori tidak aman karena nilai luasan rencana lebih besar daripada luas area eksisting.

4.5 Faktor-faktor Penyebab Terjadinya Genangan

Berdasarkan hasil peninjauan lokasi penelitian serta dengan adanya analisis kinerja saluran drainase, beberapa hal yang menjadi penyebab timbulnya genangan air pada wilayah studi antara lain:

1) Akibat kinerja saluran drainase

Salah satu penyebab terjadinya genangan pada titik tinjauan adalah kinerja saluran drainase eksisting yang tidak baik, hal tersebut ditunjukkan berdasarkan analisis dan tinjauan langsung ke lapangan bahwa kapasitas tampung saluran rencana lebih besar dibandingkan dengan kapasitas tampung saluran eksisting yang ada.

2) Akibat pola aliran drainase

Pola aliran drainase menjadi salah satu faktor yang terjadi di lokasi studi namun belum menimbulkan genangan air pada wilayah tersebut dikarenakan kapasitas tampung yang ada tidak besar. Pada saluran S3 pola aliran terputus dikarenakan drainase yang ada dibatasi oleh jalan dan tidak adanya gorong-gorong pada saluran tersebut sehingga air keluar dari saluran dan masuk ke badan jalan.



Gambar 3. Kondisi eksisting saluran S3

3) Akibat sistem gorong-gorong

Salah satu faktor yang menjadi penyebab terjadinya genangan air yaitu sistem gorong-gorong yang tidak bekerja dengan baik. Seperti tertimbun material batuan padat serta rerumputan yang menjalar. Saluran yang sistem gorong-gorongnya tidak bekerja dengan baik terjadi pada saluran S1, S2, S5. Namun saluran yang berefek besar yaitu pada saluran S5 dikarenakan sistem gorong-gorong yang ada di lokasi tertutup sehingga jalur air untuk mengalir terputus dan menimbulkan genangan air pada bahu jalan.



Gambar 4. Kondisi eksisting saluran S1

- 4) Akibat sedimentasi, sampah dan rerumputan
Permasalahan terkait sedimentasi, sampah dan rerumputan yang menjalar merupakan persoalan yang banyak terjadi di lokasi studi. Sedimentasi, sampah dan rerumputan yang menjalar pada dinding dan dasar saluran dapat menghambat laju air pada saluran yang ada dan berisiko besar menyebabkan terjadinya genangan air.



Gambar 5. Kondisi eksisting saluran S2

- 5) Akibat dimensi saluran yang rusak
Persoalan ini hanya terjadi di beberapa saluran saja di antaranya pada saluran S4. Pada saluran tersebut dimensi saluran yang ada di lapangan sudah tidak beraturan (rusak) baik dari keadaan dinding saluran maupun dasar saluran, hal tersebut menyebabkan saluran tidak dapat berfungsi dengan baik dalam penyaluran air limpasan yang ada sehingga lebih mudah menimbulkan genangan air pada ruas jalan.



Gambar 6. Kondisi eksisting saluran S4

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis kinerja saluran drainase didapatkan saluran drainase yang tidak aman yaitu: saluran S5. Dikarenakan luas penampang saluran yang direncanakan lebih besar dibandingkan luas penampang saluran yang ada di lapangan.

2. Adapun beberapa faktor penyebab terjadinya genangan di beberapa segmen di lokasi studi antara lain, kinerja saluran, pola aliran, sistem gorong-gorong, sedimentasi, sampah, rerumputan menjalar dan dimensi saluran yang rusak. Penanganan dilakukan berdasarkan persoalan yang ada, dari segi kinerja saluran perlu dilakukan perubahan dimensi saluran, dari segi pola aliran perlu dilakukan pembentukan pola aliran yang baik dengan tidak membiarkan saluran terputus-putus, dari segi sedimentasi dan lain-lain perlu adanya normalisasi drainase secara berkala, dari segi dimensi saluran yang rusak perlu adanya perbaikan dimensi saluran.

Adapun saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait dengan debit limbah masyarakat yang ada di lokasi tinjauan.
2. Normalisasi drainase secara berkala perlu dilakukan oleh pemerintah terkait, sehingga tidak menimbulkan adanya genangan air di beberapa titik pada wilayah lokasi tinjauan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. H. P. Lubis dan B. O. Y. Marpaung, "Sistem Drainase di Koridor Jamin Ginting Pancur Batu Sumatera Utara," *J. Koridor*, vol. 9, no. 1, pp. 137–141, 2019.
- [2] H. A. H. Hasmar, *Drainasi Terapan*. Yogyakarta: UII Press, 2011.
- [3] A. M. Porajouw, T. Mananoma, and H. Tangkudung, "Analisis Sistem Drainase di Kelurahan Tikala Kumaraka Kota Manado," *Sipil Statik*, vol. 7, no. 12, pp. 1593–1604, 2019.
- [4] Santi, Sulha, dan Muriadin, "Evaluasi Saluran Drainase Terhadap Genangan Air Pada Ruas Jalan Jend. A. H. Nasution - Jalan Martandu (Studi Kasus: Bundaran Tank Kota Kendari)," *STABILITA// J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 197–206, 2019.
- [5] M. Ikhsan dan T. Kadri, "Perbaikan Saluran Drainase Untuk Pengendalian Banjir Perumahan Metro Serpong, Tangerang," *IPTEKSEN*, no. September, pp. 51–56, 2019.
- [6] BSN, "SNI 2415 : 2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir rencana," 2016.
- [7] Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2004.
- [8] Turyanto, Y. S. Sundari, dan A. Nur, "Perencanaan Saluran Drainase pada Perumahan Bumi Alam Indah Kebun Agung Kecamatan Samarinda Utara," *Kurva S J. Mhs.*, vol. 1, no. 1, pp. 533–548, 2018.

Perbandingan Karakteristik Pengujian Marshall Campuran Aspal Beton Dengan *Filler* Pasir Besi Dan Abu Batu

Hery Awan Susanto¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman 53371

Email : hery.susanto@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan jalan dengan perkerasan lentur terus meningkat dari tahun ke tahun, sedangkan ketersediaan material penyusun terus berkurang. Aspal dan agregat adalah material alam yang tidak bisa diperbaharui, sehingga pada suatu saat akan habis. Agregat juga mengalami perubahan bentuk dan kualitas akibat pengaruh iklim. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap penggunaan agregat alternatif. Pemanfaatan agregat alternatif akan lebih ekonomis dan efisien jika memanfaatkan potensi lokal. Salah satu potensi agregat yang melimpah di Selatan Pulau Jawa adalah pasir besi. Pemanfaatan pasir besi dalam campuran beraspal saat ini masih terbatas sebagai agregat halus. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pemanfaatan pasir besi sebagai pengganti *filler* dalam campuran beraspal. Penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan kinerja campuran aspal beton menggunakan *filler* pasir besi dan abu batu dengan pengujian Marshall di laboratorium. Dari hasil penelitian diketahui bahwa berat jenis campuran *filler* pasir besi 9% lebih tinggi dibandingkan dengan abu batu. Nilai stabilitas *filler* pasir besi 16,5% dan *Marshall Quotient* 44,7% lebih tinggi dibandingkan dengan *filler* abu batu. Oleh karena itu *filler* pasir besi mampu menahan beban lalu lintas yang lebih baik dibandingkan *filler* abu batu. Penambahan *filler* pasir besi juga berdampak pada peningkatan elastisitas struktur *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC), sehingga struktur perkerasan menjadi lebih kaku. Disisi lain campuran dengan *filler* pasir besi membuat struktur perkerasan rentan terjadinya *raveling*.

Kata kunci: Agregat, *Filler*, Pasir Besi, Abu Batu, AC-WC, Pengujian Marshall

ABSTRACT

The construction of flexible pavement continues to increase, while the availability of asphalt materials continues to decrease. Asphalt and aggregate are un-renewable materials, thus someday will run out. The aggregates also change in shape and quality due to climate change. Therefore, it is necessary to conduct research on the use of alternative aggregates. Utilization of alternative aggregates will be more economical and efficient if it utilizes local potential. One of the abundant aggregate potentials in South Java Island is iron sand. Utilization of iron sand in asphalt mixtures is currently still limited as a fine aggregate. Therefore, this study aims to investigate the use of iron sand as a substitute for filler in asphalt mixtures. This study also aims to compare the performance of asphalt concrete mix using iron sand and stone ash filler with Marshall testing in the laboratory. The result shows that the specific gravity of the iron sand filler mixture is 9% higher than that of stone ash. The stability value of iron sand filler is 16,5% and Marshall Quotient (MQ) is 44,7% higher than stone ash filler. The addition of iron sand filler also has an impact on increasing the elasticity of the asphalt concrete-wearing course (AC-WC), thus effect to more rigid. On the other hand, the mixture with iron sand filler makes the pavement structure vulnerable to raveling.

Keywords: Aggregate, *Filler*, Iron Sand, Stone Ash, AC-WC, Marshall Test

1. PENDAHULUAN

Campuran aspal beton adalah jenis lapisan konstruksi jalan dengan bahan penyusun aspal dan agregat [1]. Tipe aspal beton yang dipakai umumnya adalah aspal penetrasi 60/70 atau 80/100. Sedangkan untuk agregat terdiri dari agregat kasar, halus, dan *filler* yang membentuk gradasi baik [2]. Proses pencampuran aspal dan agregat dilakukan pada suhu tertentu sesuai jenis lapisan perkerasan. Untuk jenis *hot mix asphalt* (HMA) suhu pencampuran aspal dan agregat berkisar 140-160 °C [3,4].

Dalam campuran aspal beton penggunaan *filler* berfungsi sebagai bahan pengisi di antara agregat kasar dan halus sehingga tidak terdapat rongga. *Filler* juga memberikan pengaruh terhadap kinerja campuran beraspal meliputi: *weathering*, *durability*, *bleeding*, dan *pliability*. Pemilihan *filler* dalam campuran beraspal harus kering, bersih, dan elastis [5,6]. *Filler* juga harus memiliki kadar air yang cukup, sehingga menghasilkan lapisan beton aspal yang kedap air [7].

Kualitas campuran aspal beton salah satunya dipengaruhi oleh ketersediaan material yang memenuhi spesifikasi teknis. Sumber material yang dekat dengan lokasi proyek juga akan menurunkan biaya konstruksi jalan. Saat ini abu batu (*stone ash*) banyak digunakan sebagai *filler* campuran beraspal. Namun demikian beberapa peneliti telah berhasil melakukan studi tentang penggunaan *filler* alternatif seperti: abu terbang (*fly ash*), kapur, abu sekam padi, semen, batu bata, dan abu sawit dalam campuran beraspal [8].

Pemanfaatan bahan *filler* alternatif berdasarkan potensi sumber daya lokal terus dikaji untuk menekan biaya pembangunan konstruksi jalan. Salah satu potensi lokal yang melimpah di pesisir pantai Selatan Pulau Jawa adalah pasir besi dengan jumlah produksi hampir mencapai 60%. Karakteristik yang dimiliki oleh pasir besi yaitu memiliki tekstur yang kasar dan berat jenis tinggi, sehingga mampu meningkatkan koefisien gesek permukaan perkerasan dan menurunkan kadar aspal dalam campuran beraspal.

Studi pemanfaatan pasir besi dalam campuran beraspal yang digunakan sebagai agregat halus mampu menunjukkan peningkatan stabilitas dan penurunan *flow* [9]. Hal ini dikarenakan kandungan besi (Fe) pada pasir besi yang mampu meningkatkan kekuatan pasir besi itu sendiri dan berdampak pada peningkatan kekuatan struktur jalan. Pemanfaatan pasir besi masih terbatas sebagai pengganti agregat halus saja [10]. Belum ada penelitian yang melakukan studi pemanfaatan pasir besi sebagai *filler* dalam campuran beraspal. Oleh karena itu dengan melihat potensi pasir besi yang besar di Kabupaten Cilacap dan dengan kadar Fe yang tinggi, maka perlu dilakukan penelitian pemanfaatan pasir besi sebagai *filler* dalam campuran beraspal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki pemanfaatan pasir besi sebagai pengganti *filler* dalam campuran beraspal. Penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan kinerja campuran aspal beton menggunakan *filler* pasir besi dan abu batu.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

Tahapan pengujian dilakukan untuk mendapatkan hasil pengujian sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Perbandingan kinerja aspal beton dengan menggunakan *filler* pasir besi dan abu batu ditentukan melalui pengujian Marshall di laboratorium [11,12]. Tahapan pengujian dimulai dengan menyiapkan material penyusun aspal beton, pengujian karakteristik material, pembuatan sampel Marshall, penentuan kadar aspal optimum (KAO), pengujian Marshall berdasarkan nilai KAO [13].

2.1 Pengujian Material di Laboratorium

Dalam penelitian ini dipilih campuran aspal beton jenis *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC), karena lapisan ini adalah lapisan teratas yang secara langsung mendapatkan beban lalu lintas kendaraan. Selanjutnya aspal penetrasi tipe 60/70 dipilih dengan pertimbangan aspal tipe ini sering digunakan dalam pembuatan jalan di Indonesia. Pengujian sifat fisik aspal harus memenuhi standar Bina Marga [7]. Material agregat kasar, halus, dan abu batu diperoleh dari PT. Sambas Wijaya, Purbalingga. Sedangkan untuk *filler* pasir besi diperoleh dari penambangan tradisional di Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap. Karakteristik agregat yang digunakan harus memenuhi standar pengujian dari Bina Marga [7]. Gradasi agregat gabungan harus dikontrol agar memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Untuk mengetahui persentase rongga di antara agregat dan dalam campuran AC-WC dilakukan pengujian berat jenis *filler*.

Tabel 1 Tabel 4 menunjukkan spesifikasi pengujian aspal dan agregat untuk campuran beton aspal berdasarkan standar Bina Marga. Sedangkan Gambar 1 adalah gradasi agregat gabungan yang harus dicapai untuk mendapatkan campuran AC-WC [7].

Tabel 1. Spesifikasi Pengujian Aspal Penetrasi

Pengujian	Spesifikasi
Penetrasi pada 25°C (dmm)	60 - 70
Titik Lembek (°C)	Min. 48
Titik Nyala (°C)	Min. 232
Daktilitas pada 25°C	Min. 100
Berat Jenis	Min. 1
Indeks penetrasi	Min. -1
Kelarutan dalam Toluene (%)	Min. 99
Pengujian hasil residu hasil TFOT	
Berat yang hilang (TFOT), % berat	Max. 0.8
Penetrasi pada 25°C (dmm)	Min. 54
Daktilitas pada 25°C (cm)	Min. 100
Indeks penetrasi	Min. -1

Tabel 2. Spesifikasi Pengujian Agregat Kasar

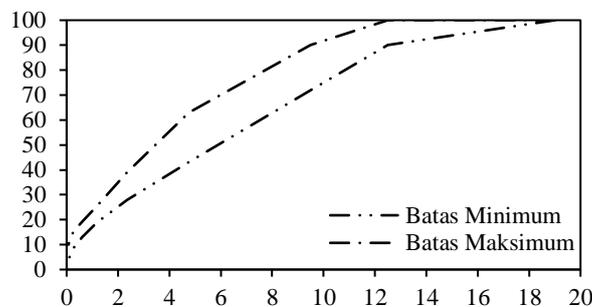
Pengujian	Spesifikasi
Kekekalan bentuk agregat	Maks. 12 %
Abrasi	Maks. 30%
Kelekatan agregat terhadap aspal	Min. 95 %
Angularitas (kedalaman < 10 cm)	95/90
Angularitas (kedalaman ≥ 10 cm)	80/75
Partikel pipih dan lonjong	Maks. 10 %
Material lolos ayakan No. 200	Maks. 1%

Tabel 3. Spesifikasi Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Spesifikasi
Nilai setara pasir	Min. 70 %
Material lolos ayakan No. 200	Maks. 8 %
Angularitas (kedalaman < 10 cm)	Min. 45
Angularitas (kedalaman ≥ 10 cm)	Min. 40
Kadar lempung	1%

Tabel 4. Spesifikasi Pengujian Filler

Pengujian	Spesifikasi
Lolos saringan No.200	≥ 75 %



Gambar 1. Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan

2.2 Analisis Perbandingan Kinerja Hasil Pengujian Marshall

Setelah material memenuhi semua spesifikasi yang berlaku, maka dilakukan pembuatan sampel Marshall untuk mencari nilai KAO dengan *filler* abu batu. Penentuan awal nilai KAO dilakukan dengan menggunakan persamaan empiris pada persamaan (1) [7].

$$P_b = 0,035(\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + K \quad (1)$$

keterangan;

P_b =Perkiraan kadar aspal terhadap campuran; persentase berat terhadap campuran (%)

CA=*Coarse Agregate*; Agregat kasar tertahan saringan No. 8 (2,36mm)

FA=*Fine Agregate*; Agregat halus lolos saringan No. 8 (2,36 mm)

FF=*Fine Filler*; bahan pengisi lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

K=Konstanta; untuk laston AC-WC dipakai 0,5–1,0

Sampel untuk mencari nilai KAO dibuat masing-masing berjumlah 3 buah sesuai Tabel 5. Ketentuan nilai kadar aspal pendekatan dilakukan berdasarkan nilai P_b , yaitu: ($P_b-1\%$), ($P_b-0,5\%$), P_b , ($P_b+0,5\%$), dan ($P_b+1\%$) [7].

Tabel 5. Jumlah Sampel Marshall untuk mencari KAO

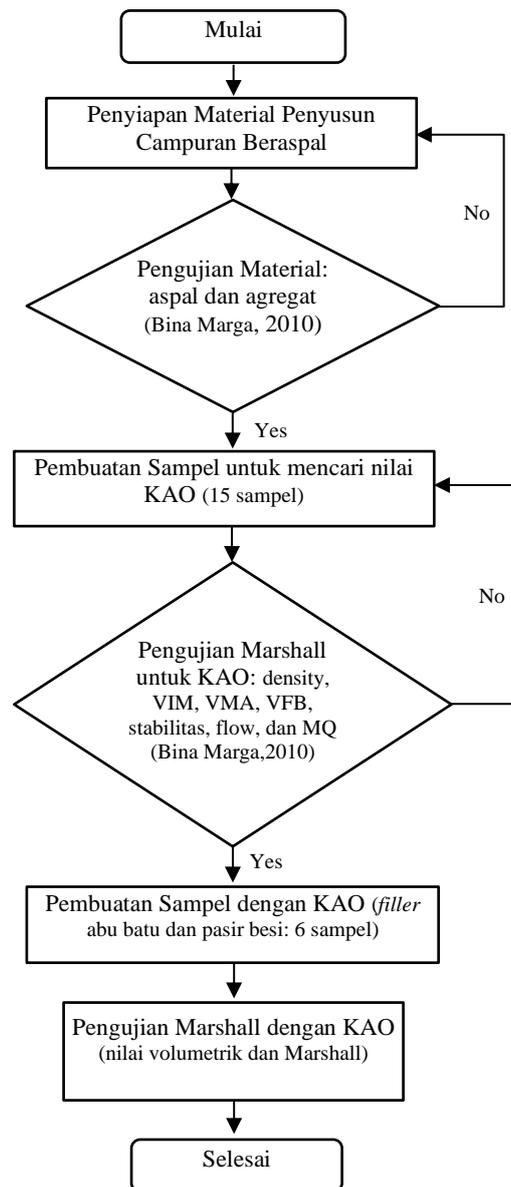
Jenis Filler	Variasi Kadar Aspal				
	-1%	-0,5%	Pb	+0,5%	+1%
Abu Batu	3	3	3	3	3

Setelah mendapatkan nilai KAO (Pb_{opt}), maka dilakukan pengujian Marshall aspal beton dengan *filler* abu batu dan pasir besi sesuai Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah Sampel Marshall dengan KAO

Jenis Filler	KAO
Abu batu	3
Pasir besi	3

Selanjutnya dari hasil pengujian tersebut di atas, maka bisa dilakukan analisis perbandingan kinerja aspal beton dengan 2 jenis *filler*, yaitu abu batu dan pasir besi. Gambar 2 adalah diagram alur penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini. Parameter pengujian Marshall meliputi nilai volumetrik dan nilai Marshall. Nilai volumetrik terdiri dari *density* (Gr/mm), *Voids in Mix* (VIM:%), *Voids in Mineral Agregate* (VMA:%), *Voids Filled Bitumen* (VFB:%). Sedangkan nilai Marshall terdiri dari stabilitas (Kg), flow (mm), dan *Marshall Quotient* (MQ: Kg/mm).



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Material *Asphalt Concrete Wearing Course*

Hasil pengujian karakteristik material ditampilkan dari mulai Tabel 7 Tabel 10. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan gradasi agregat gabungan dari hasil pengujian *sieve analysis*. Dari data hasil pengujian dapat diketahui bahwa material yang dipakai memenuhi standar yang ditentukan oleh Bina Marga. Aspal penetrasi 60/70 yang dipakai dalam campuran beraspal telah memenuhi semua kriteria sifat rheologi aspal sesuai spesifikasi Bina Marga dalam Tabel 1. Sehingga aspal penetrasi 60/70 dapat digunakan dalam campuran beraspal. Hasil pengujian aspal penetrasi 60/70 terangkum dalam Tabel 7. Demikian pula dengan agregat kasar, halus, dan *filler* berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan telah memenuhi semua spesifikasi seperti yang disyaratkan oleh Bina Marga dalam Tabel 2-4. Sehingga agregat yang dipilih dapat digunakan dalam campuran beraspal. Hasil pengujian agregat ditampilkan dalam Tabel 8-10. Tabel 11 menunjukkan hasil pengujian berat jenis *filler* antara pasir besi dan abu batu. Berat jenis pasir besi lebih tinggi daripada berat jenis abu batu. Berdasarkan nilai volumetrik, maka berat jenis yang tinggi akan berdampak pada *density* yang lebih tinggi dan efisiensi berat material.

Tabel 7. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian	Hasil Pengujian
Penetrasi pada 25°C (dmm)	66
Titik Lembek (°C)	56,7 °C
Titik Nyala (°C)	322 °C
Daktilitas pada 25°C	> 110 cm
Berat Jenis	1,042 gr/cc
Indeks penetrasi	1,19
Kelarutan dalam Toluene (%)	99,3 %
Pengujian hasil residu hasil TFOT	
Berat yang hilang (TFOT), % berat	0,28 %
Penetrasi pada 25°C (dmm)	65,8
Daktilitas pada 25°C (cm)	>110 cm
Indeks penetrasi	1,17

Tabel 8. Hasil Pengujian Agregat Kasar

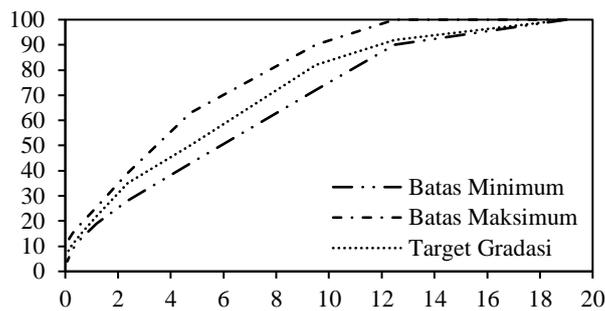
Pengujian	Hasil Pengujian
Kekekalan bentuk agregat	3,132 %
Abrasi	29,80%
Kelekatan agregat terhadap aspal	98,00%
Angularitas (<10 cm)	94.70%
Angularitas (≥10 cm)	-
Partikel pipih dan lojong	8,46 %
Material lolos ayakan No. 200	0,67%

Tabel 9. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Hasil Pengujian
Nilai setara pasir	70,85 %
Material lolos ayakan No. 200	6,672%
Angularitas (kedalaman<10cm)	93,32%
Angularitas (kedalaman≥10cm)	93,23%
Kadar lempung	0,98%

Tabel 10. Hasil Pengujian *Filler*

Pengujian	Hasil Pengujian
Berat butiran yang lolos ayakan 75 mikron	83,40%



Gambar 3. Gradasi Agregat Gabungan Hasil Analisa Saringan

Tabel 11. Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

Persentase <i>Filler</i>	BJ Bulk	BJ Apparent	BJ Efektif
Abu batu	2,608	2,736	2,672
Pasir besi	2,829	3,011	2,924

3.2 Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan KAO

Tabel 12 Tabel 13 menunjukkan proses penentuan nilai KAO. Tabel 12 adalah hasil pengujian Marshall untuk mencari nilai KAO. Setelah mendapatkan nilai karakteristik pengujian Marshall, kemudian nilai KAO dicari dengan menggunakan cara pada Tabel 13. Penentuan Nilai KAO.

Tabel 12. Hasil Pengujian Marshall untuk mencari KAO

Kadar aspal (%)	3,5	4	4,5	5	5,5
Density (Gr/cc)	2,408	2,376	2,365	2,347	2,323
VFB (%)	60	66	69	76	83
VIM (%)	5,99	4,57	4,21	3,44	2,43
VMA (%)	12,3	14,78	14,84	14,99	15,01
Stabilitas (Kg)	826	947	956	977	1166
Flow (mm)	6,83	6,3	5,99	5,45	4,91
MQ (Kg/mm)	121	150	160	179	238

Tabel 13. Penentuan Nilai KAO

Kriteria	Spesifikasi	Kadar aspal (%)				
		3,5	4	4,5	5	5,5
Density (Gr/cc)	-	[Bar chart showing density values for each asphalt content]				
VFB (%)	Min.65	[Bar chart showing VFB values for each asphalt content]				
VIM (%)	3-5,9	[Bar chart showing VIM values for each asphalt content]				
VMA (%)	Min.15	[Bar chart showing VMA values for each asphalt content]				
Stabilitas (Kg)	Min.800	[Bar chart showing stability values for each asphalt content]				
Flow (mm)	Min. 2	[Bar chart showing flow values for each asphalt content]				
MQ (Kg/mm)	Min. 200	[Bar chart showing MQ values for each asphalt content]				

Pb_{opt}=5,5%

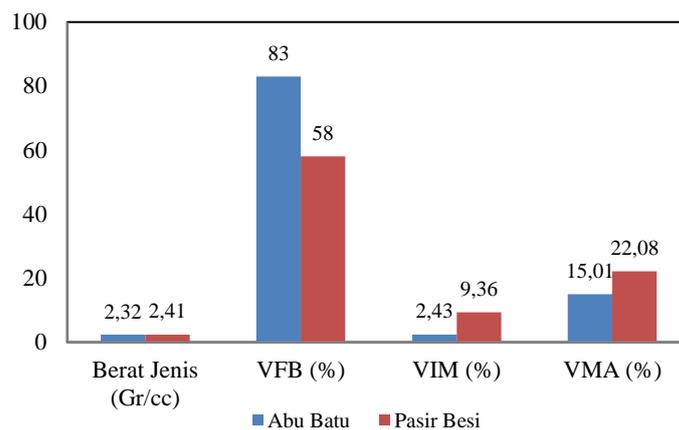
3.3 Hasil Pengujian Marshall dengan KAO

Gambar 4 Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian Marshall untuk sampel dengan *filler* abu batu dan pasir besi dengan nilai KAO 5,5%. Terlihat dari hasil uji berat jenis sampel AC-WC dengan *filler* pasir besi sebesar 2,41 Gr/cc, sedangkan *filler* abu batu sebesar 2,32 Gr/cc. Berat jenis *filler* pasir besi 9% lebih tinggi dibandingkan dengan abu batu. Dengan volume yang sama dan berat jenis berbeda, maka kebutuhan material penyusun sampel menjadi berbeda. Hal ini dikarenakan berat jenis efektif pasir besi lebih tinggi daripada abu batu, sehingga campuran dengan *filler* pasir besi membutuhkan jumlah material penyusun

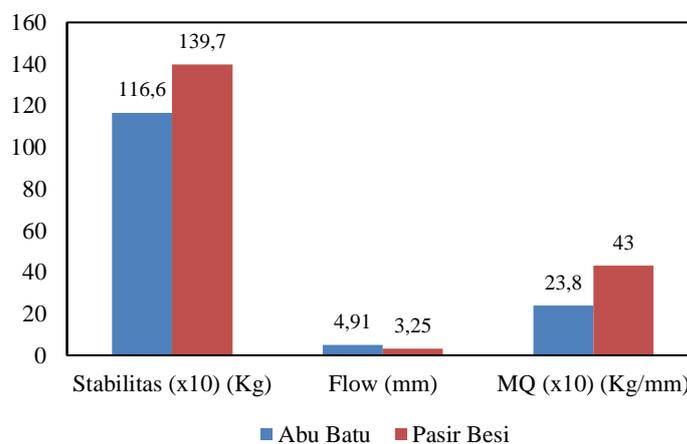
yang lebih sedikit. Campuran dengan berat jenis yang besar juga menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki kekuatan yang besar dalam menahan beban lalu lintas.

Dari nilai VFB dapat diketahui bahwa campuran AC-WC dengan *filler* abu batu sebesar 83%, sedangkan *filler* pasir besi sebesar 58%. VFB *filler* abu batu 30,12% lebih tinggi dibandingkan pasir besi, sehingga campuran AC-WC dengan *filler* abu batu membutuhkan aspal yang lebih banyak dibandingkan pasir besi. Nilai VFB yang tinggi akan berpotensi terhadap terjadinya *bleeding* dalam campuran, sehingga harus diantisipasi dengan baik. Sedangkan jika ditinjau dari nilai VIM, maka campuran AC-WC dengan *filler* pasir besi memiliki nilai 9,36%, dan *filler* abu batu 2,43%. *Filler* pasir besi memiliki VIM 74,04% lebih tinggi dibandingkan abu batu. Hal ini berakibat campuran AC-WC dengan *filler* pasir besi berpotensi terjadinya pelepasan butiran (*raveling*). Nilai VMA campuran dengan *filler* pasir besi memiliki VMA sebesar 22,08%, dan abu batu sebesar 15,01%. VMA *filler* pasir besi 32,02% lebih tinggi dibandingkan abu batu. Peningkatan nilai VMA pada *filler* pasir besi menyebabkan mengecilnya rongga yang terisi aspal.

Dari analisis nilai stabilitas, *flow* dan MQ dapat diketahui bahwa nilai stabilitas *filler* pasir besi sebesar 1397 Kg, *flow* 3,25 mm, dan MQ 43 Kg/mm. Sedangkan *filler* abu batu memiliki nilai stabilitas *filler* pasir besi sebesar 1166 Kg, *flow* 4,91 mm, dan MQ 23,8 Kg/mm. Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas *filler* pasir besi sebesar 16,5% lebih tinggi, *flow* 33,8 % lebih rendah, dan MQ 44,7% lebih tinggi dibandingkan *filler* abu batu. Dari korelasi ketiga nilai tersebut maka *filler* pasir besi memberikan sifat struktur AC-WC lebih kaku dibandingkan dengan *filler* abu batu.



Gambar 4. Perbandingan Kinerja Campuran AC-WC berdasarkan Nilai Volumetrik Pengujian Marshall pada KAO



Gambar 5. Perbandingan Kinerja Campuran AC-WC berdasarkan Karakteristik Nilai Marshall pada KAO

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan kinerja campuran AC-WC dengan *filler* abu batu dan pasir besi. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- a) Berat jenis campuran *filler* pasir besi 9% lebih tinggi dibandingkan *filler* abu batu yang berdampak pada kebutuhan berat material yang lebih sedikit, sehingga lebih ekonomis.

- b) Bahwa *filler* pasir besi memiliki stabilitas 16,5% dan MQ 44,7% lebih tinggi dibandingkan *filler* abu batu, sehingga mampu menahan beban lalu lintas yang lebih baik.
- c) Penambahan pasir besi sebagai *filler* berdampak pengurangan elastisitas struktur AC-WC, sehingga menjadi lebih kaku.
- d) Campuran dengan *filler* pasir besi membuat struktur rentan terhadap *raveling*, sedangkan campuran dengan *filler* abu batu rentan terhadap *bleeding*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indraswari H., Bahan Perkerasan Jalan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, 1971, Jakarta.
- [2] Anas T., “Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar *Filler* Abu Terbang Batu Bara”, *Jurnal SMARTek*, Vol. 7, No. 4, November 2009: 256 – 278.
- [3] Sukirman S., Perkerasan Lentur Jalan Raya, 1999, Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- [4] Sukiman S., Beton Aspal Campuran Panas, Buku Obor, 2008, Jakarta.
- [5] Sjachril M., Perencanaan Bahan Campuran Aspal, 2008, Pusdiklat Departemen Pekerjaan Umum.
- [6] Departemen Pekerjaan Umum, Perencanaan Material Campuran Aspal, Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, 2004, Jakarta.
- [7] Bina Marga, Seksi 6.3, Spesifikasi Campuran Beraspal Panas pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Edisi 2010, Jakarta : Direktorat Jendral Bina Marga.
- [8] Mulyono, A.T., “Pengaruh Variasi Jenis dan Kadar *Filler* Terhadap Stabilitas, Fleksibilitas dan Tingkat Durabilitas HRS (*Hot Rolled Sheet*) Kelas B”, *Media Teknik*, No.3, Edisi November 1996, UGM, Yogyakarta.
- [9] Priambodo A., Kajian Laboratorium Pengaruh Penggunaan Pasir Besi Sebagai Agregat Halus pada campuran Aspal Panas HRA terhadap sifat Marshall dan Durabilitas, Tesis Tidak Diterbitkan, Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro, 2003, Semarang. (eprints.undip.ac.id)
- [10] Goenarto and Mario, Penggunaan Limbah Pasir Besi sebagai Bahan Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal Beton, Skripsi, Petra Christian University, 2002.
- [11] SKNI-M-58-1990-03, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Departemen pekerjaan Umum, 1990, Jakarta.
- [12] Bina Marga, RSNI-M-01, Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall, 2003, Jakarta : Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- [13] Indraswari H., Aspal Beton, Perencanaan Campuran Di Laboratorium, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, 1976, Jakarta.

Analisis Numeris Menggunakan *Agent Based Modelling* Untuk Evakuasi Bencana Tsunami Gedung I Universitas Bengkulu, Indonesia

Fitria Nabila¹, Hardiansyah², Lindung Zalbuin Mase^{3*}

^{1 2 3}Program Studi Teknik Sipil – Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jl. WR. Supratman, Kandang Limun, Muara BangkaHulu, Kota Bengkulu, (0736) 38119
* Corresponding Author's E-mail: lmase@unib.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pada Gedung I, Universitas Bengkulu, yang bertujuan untuk memodelkan pergerakan pengguna gedung dalam melakukan evakuasi tsunami menggunakan Pemodelan Berbasis Agen. Penelitian diawali dengan melakukan survei kendaraan parkir pada halaman Gedung I untuk mendapatkan waktu puncak kendaraan parkir. Selanjutnya dilakukan penyebaran kuesioner untuk mendapatkan informasi perjalanan harian dan ketika proses evakuasi bencana tsunami menuju pintu keluar bagian belakang. Hasil observasi dan kuesioner selanjutnya dianalisis lebih lanjut, khususnya untuk mengetahui validitas data, derajat kejenuhan, volume, kapasitas. Penelitian ini mempertimbangkan beberapa ruas jalan dan rute alternatif. Analisis data menunjukkan kondisi ruas jalan yang ditinjau dari hasil permodelan konsisten dengan hasil pengamatan langsung di lapangan. Secara umum, Rute alternatif evakuasi yang banyak dipilih responden adalah rute yang sering dilalui pada waktu harian dan akses yang mudah pada saat evakuasi. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa nilai derajat kejenuhan pada R01 (0,1598) serta kapasitas R07 dan R08 yang tinggi sebesar 2039,59 skr/jam. Ini mengindikasikan bahwa perlu adanya pengembangan kinerja jaringan jalan lokal. Ini dapat menjadi rekomendasi dalam memudahkan proses evakuasi tsunami.

Kata Kunci: Permodelan, Ruas Jalan, Rute Alternatif, Evakuasi.

ABSTRACT

This study was conducted at Gedung I, Universitas Bengkulu, which aims to model the movement of building users in conducting tsunami evacuations using Agent Based Modelling. This study initiates by performing the vehicles parking survey at Gedung I to obtain the peak parking period. Furthermore, the questionnaire was distributed to get daily - frequently to information and when the tsunami disaster evacuation process to the rear exit. The observation results and questionnaires were further analyzed, especially to find out the data validity, degree of saturation, volume, and capacity. This study considers road section and alternative routes. Data analysis shows that the condition of the road sections viewed from the results of the modelling is consistent with the result of direct observations in the field. In general, the alternative evacuation routes that many respondents choose are the routes that are often traveled on a daily basis and easy access at the time of evacuation. The results also showed that the value of degree saturation at R01 (0,1598) and high capacity at R07 and R08 was 20399,59 pce/hour. It indicates that there is a need to improve the performance of the local road network. This can be a recommendation in facilitating the tsunami evacuation process.

Key Word: Modelling, Road Section, Alternative Routes, Evacuations.

1. PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia berada pada jalur subduksi, yang terdapat pada batas antar lempeng bumi. Wilayah Pulau Sumatera dilalui oleh patahan pemicu terjadinya gempa bumi. Bengkulu berbatasan dengan Samudera Hindia di sebelah barat, yang terdapat perpotongan lempeng yang menyebabkan Bengkulu menjadi rawan gempa dan ancaman tsunami.

Universitas Bengkulu (UNIB) terletak pada pesisir pantai, sehingga menjadi pengaruh besar ketika terjadi ancaman bencana tsunami. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian terhadap kinerja jalan lokal Universitas Bengkulu terhadap aktivitas Pengguna Gedung I Universitas Bengkulu menggunakan pemodelan berbasis agen (*Agent Based Modelling*). Pemodelan evakuasi memahami perilaku individu sebagai agen pemodelan dengan menggunakan aplikasi NetLogo.

Penelitian ini menggambarkan agen sebagai pengguna Gedung I untuk mengetahui respons pengguna Gedung I Universitas Bengkulu saat evakuasi di tiap ruas jalan lokal universitas. Selain itu, penelitian ini untuk mengetahui rute tinjauan yang banyak dipilih oleh pengguna Gedung I Universitas Bengkulu. Rute jaringan jalan yang dipilih adalah 4 rute jaringan jalan terpendek menuju pintu keluar Universitas Bengkulu bagian Belakang.

Adanya penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan kinerja jaringan jalan lokal universitas yang ditinjau dalam pemodelan. Penelitian menghitung waktu tempuh dan ruas jalan alternatif yang digunakan pengguna Gedung I melakukan evakuasi, berdasarkan kapasitas dan derajat kejenuhan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (dimodifikasi dari *Google Earth*, Zona Universitas Bengkulu 2019)



Gambar 2. Gedung I (Survei Langsung)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Gempa dan Tsunami di Bengkulu

Provinsi Bengkulu berbatasan langsung dengan Samudera Indonesia pada garis pantai sepanjang ± 433 km. Terjadinya tsunami besar pada 26 Desember 2004, daerah Aceh dan Nias adalah wilayah di Indonesia yang paling parah terkena dampaknya. Hal ini dikarenakan wilayah tersebut berada pada daerah pembangkit tsunami yaitu gempa tektonik di wilayah Pulau Simeulue. Berdasarkan kondisi ini, pemerintahan memberikan perhatian lebih terhadap kemungkinan terjadinya tsunami di wilayah Provinsi Bengkulu, dengan memperkirakan daerah yang memiliki kemungkinan terkena dampak tsunami melalui pemodelan tsunami yang dapat dibuat. Pemodelan ini dilakukan melalui pertimbangan atas terjadinya gempa besar yang pernah terjadi di wilayah Bengkulu. Berdasarkan data yang ada, Kota Bengkulu telah terjadi terjangan gelombang akibat pergerakan lempeng secara mendadak. Kejadian ini terjadi pada tahun 1797 dan tahun 1833 diawali dengan terjadinya gempa di dasar laut Samudera Hindia [2].

2.2 Sistem dan Sarana ketika Evakuasi Bencana Tsunami

Evakuasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu, evakuasi horizontal dan evakuasi vertikal. Evakuasi horizontal diperlukan dengan pertimbangan masyarakat harus melakukan evakuasi menggunakan kendaraan atau berjalan kaki. Evakuasi vertikal dilakukan dengan penggunaan *shelter* atau bangunan bertingkat tahan gempa. Rute Evakuasi adalah jalan yang akan memandu masyarakat aman ketika evakuasi [12].

2.3 Kinerja Jaringan Jalan

Kinerja jalan adalah suatu pengukuran secara kuantitatif dalam menggambarkan kondisi pada suatu ruas jalan. Ketika menganalisis suatu kinerja jaringan jalan, pada umumnya membahas tentang kapasitas, derajat kejenuhan atau *Volume Capacity Ratio* (VCR), kecepatan rata – rata, waktu perjalanan, tundaan dan antrean. Sedangkan untuk pengukuran secara kualitatif yang menggambarkan keadaan operasional dalam arus lalu lintas dan persepsi pengemudi tentang kualitas berkendara dinyatakan dengan tingkat pelayanan ruas jalan [5].

Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia atau PKJI (2014) [11] bahwa kapasitas merupakan arus lalu lintas maksimum dalam satuan skr/jam yang dapat dipertahankan sepanjang segmen jalan tertentu dalam kondisi tertentu, yang melingkupi geometrik, lingkungan dan lalu lintas. Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas adalah sebagai berikut:

$$C = C_0 \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \tag{1}$$

Keterangan :

- C : kapasitas (skr/jam)
- C₀ : kapasitas dasar (skr/jam)
- FC_{LJ} : faktor penyesuaian kapasitas terkait lebar lajur /jalur lalu lintas
- FC_{PA} : faktor penyesuaian kapasitas terkait pemisah arah, hanya pada jalan tak terbagi
- FC_{HS} : faktor penyesuaian kapasitas terkait KHS pada jalan berbahu
- FC_{UK} : faktor penyesuaian kapasitas terkait ukuran kota

Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2014) [11] menyatakan bahwa D_J (*Volume Capacity Ratio*) adalah ukuran utama yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja segmen jalan. Derajat Kejenuhan (D_J) dihitung menggunakan persamaan:

$$D_J = \frac{Q}{C} \tag{2}$$

Keterangan :

- D_J : Derajat Kejenuhan
- Q : Arus lalu lintas (skr/jam)
- C : Kapasitas (skr/jam)

Menurut MKJI (1997) [7] , jika VCR ≤ 0,75 masih dalam kategori kejenuhan yang normal. Jika VCR > 0,75 maka ruas jalan atau simpang tidak dapat memberikan kapasitas yang mencukupi bagi pengguna jalan.

2.4 Pemodelan Transportasi untuk Evakuasi

Transportasi dalam evakuasi yang berbasis kinerja jaringan jalan memiliki keuntungan dapat modelkan pergerakan lalu lintas ketika evakuasi dalam skala besar. Hasil yang diperoleh berupa waktu evakuasi dan jalur yang padat atau rentan ketika dilakukan pengungsian. Diterapkannya pemodelan evakuasi yang berdasarkan kinerja jaringan jalan dapat membantu pengoptimalan rute evakuasi yang digunakan oleh pengungsi [4].

2.5 Pemodelan Berbasis Agent Based Modelling menggunakan NetLogo

Bonabeau [1] menyatakan bahwa dalam ABM suatu sistem dimodelkan dengan kumpulan entitas atau objek yang dapat mengambil keputusan secara otonom, entitas ini disebut agen. Setiap agen bertindak menanggapi respons terhadap bencana dengan menyesuaikan terhadap lingkungannya. Pemodelan berbasis agen atau *Agent Based Modelling* (ABM) yaitu pendekatan pemodelan dalam menganalisis sistem secara kompleks dengan dunia nyata [10].

Model berbasis agen dengan melakukan pendekatan bahwa setiap agen dimodelkan dan dilakukan pengambilan keputusan. Setiap agen melaksanakan peraturan sesuai dengan sistem, dengan demikian agen mampu menjalankan berbagai perilaku masing-masing individu merupakan cerminan dari penduduk yang dievakuasi yang selanjutnya keinginan penduduk untuk evakuasi menjadi salah satu indikator yang digunakan dalam evakuasi. Ancaman bencana yang semakin meningkat menuntut untuk mengembangkan model evakuasi, agar memberikan gagasan untuk penyelamatan masyarakat [4].

2.6 Instrumen Penelitian (Skala Likert)

Skala *likert* memiliki 4 atau lebih butir pertanyaan yang akan dikombinasikan sehingga membentuk suatu skor atau nilai yang dapat mencerminkan pemahaman, perilaku, sikap serta sifat individu [6]. Pemberian skor (Tabel 1) yang digunakan dalam kuesioner penelitian ini adalah teknik Skala *Likert*. Indikator dalam skala *likert* dijadikan untuk menyusun item-item instrumen yang dapat berupa pernyataan atau pernyataan. Skala *likert* digunakan untuk mengukur sikap, pendapat, dan persepsi seseorang atau sekelompok orang tentang fenomena sosial [13].

Tabel 1. Rentang Nilai Likert Skala 4

Tipe	Skor	Skala Skor
Sangat Tahu	4	3
Tahu	3	2-2,99
Tidak Tahu	2	1-1,99
Sangat Tidak Tahu	1	0-0,99

2.7 Populasi dan Sampel

Menentukan jumlah sampel dapat menggunakan rumus untuk menentukan besaran sampel dalam penelitian yaitu Persamaan Slovin sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{1+N(e^2)} \tag{3}$$

Keterangan :

- n : Jumlah responden
- N : Jumlah populasi
- e : persentase kelonggaran karena kesalahan pengambilan sampel

2.8 Uji Validitas Perbandingan Hasil Kuisisioner dan Simulasi NetLogo

Regresi linier adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan model hubungan antara satu variabel terikat dan satu atau lebih variabel bebas [3]. Untuk pengujian validitas dilakukan perbandingan jumlah agen yang melalui tiap ruas jalan tinjauan berdasarkan hasil kuisisioner dan simulasi NetLogo. Analisis regresi linier sederhana adalah hubungan secara linier antara satu variabel independen (X) dengan variabel dependen (Y). b_0 adalah perpotongan atau suatu konstanta yang menyatakan jarak dari titik pangkal ke Titik Potong Garis Sumbu Y.

Rumus yang digunakan antara lain:

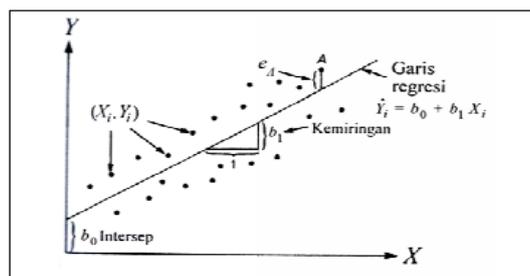
$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{4}$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{5}$$

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{\{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}} \tag{6}$$

Keterangan :

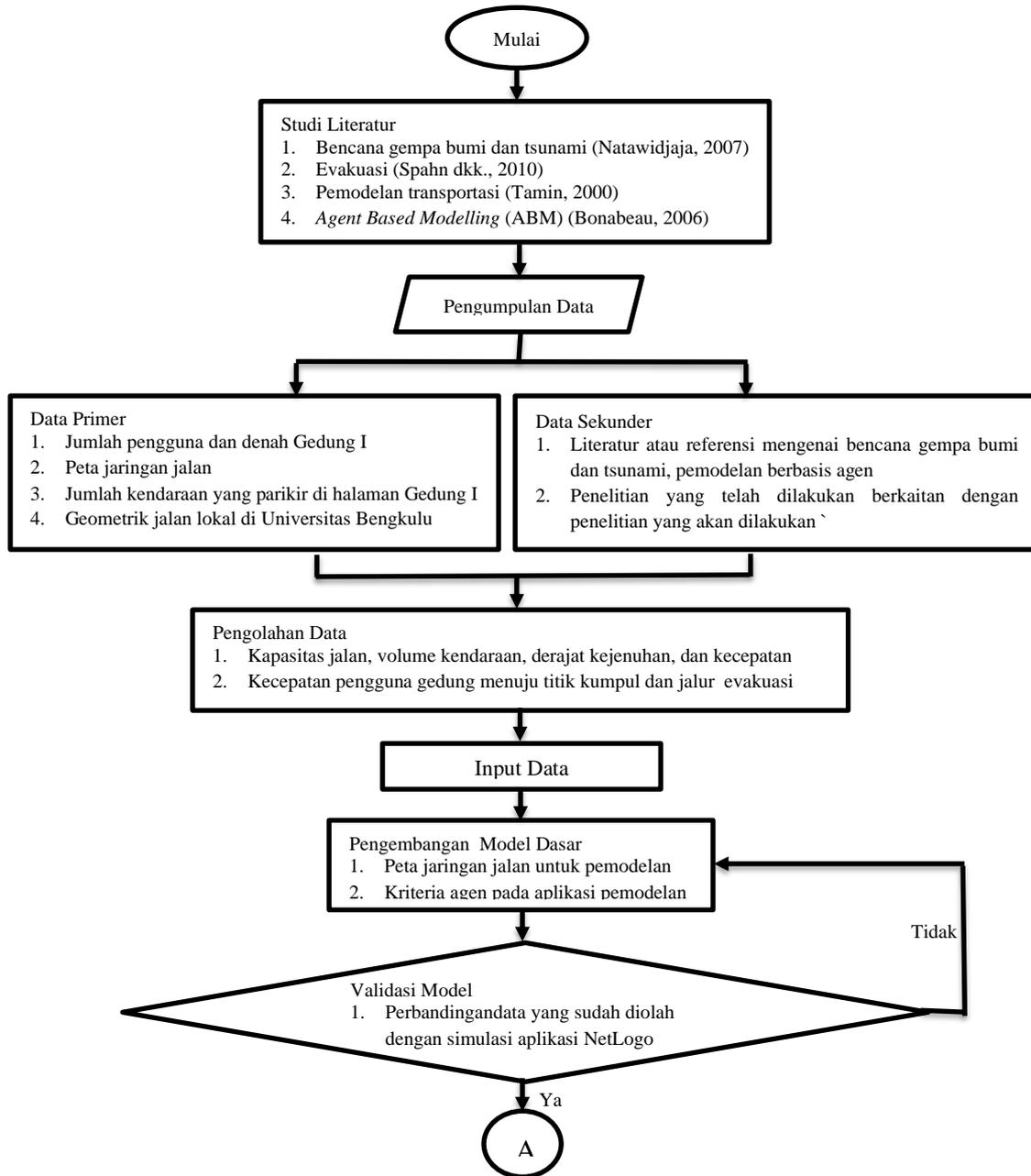
- Y : Garis regresi
- a : Konstanta, berpotong sumbu vertikal
- b : Konstanta regresi
- X : Variabel bebas
- n : Jumlah data
- r : Nilai regresi linier



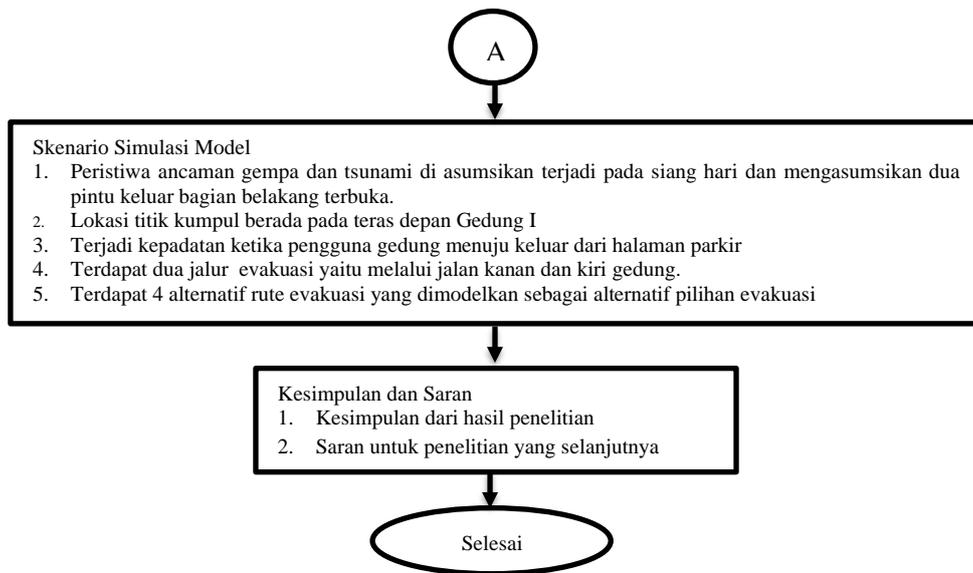
Gambar 3. Grafik Regresi Linier (sumber: Harlan, 2018)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di lokasi Gedung I dan ruas jalan lokal yang ditinjau pada Universitas Bengkulu. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Metode penelitian dapat dilihat pada bagan alir di bawah ini (Gambar 4).



Gambar 4. Bagan Alir Sambungan

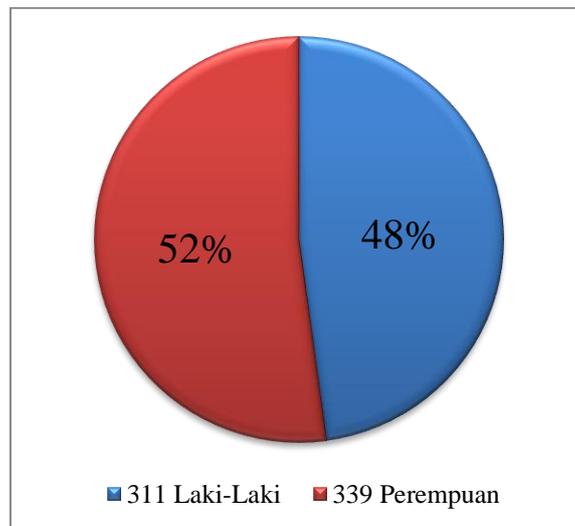


Gambar 5. Bagan Alir Lanjutan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Jumlah Pengungsi Gedung I

Survei yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa persentase pengguna Gedung I 48% laki – laki dan 52% perempuan. Persentase (Gambar 6) tersebut mengindikasikan bahwa dari total pengguna gedung sebanyak 650 orang, menunjukkan bahwa 311 orang terdiri dari laki – laki dan 339 orang perempuan.



Gambar 6. Jumlah Pengguna Gedung I

4.2 Survei Parkir

Moda transportasi yang terdapat di Gedung I Universitas Bengkulu terdiri dari sepeda motor dan kendaraan ringan. Letak parkir Gedung I Universitas Bengkulu berada di halaman depan gedung dan sebelah kanan gedung. Halaman parkir pada Gedung I dibedakan menjadi dua yaitu, halaman parkir khusus sepeda motor dan kendaraan ringan. Survei parkir dilaksanakan untuk mengetahui waktu puncak kendaraan parkir pada Gedung I. Dari waktu puncak akan diasumsikan pukul 10.00 – 11.00 WIB sebagai waktu terjadinya ancaman bencana tsunami di kawasan Universitas Bengkulu.

4.3 Jaringan Jalan Universitas

Jaringan jalan yang dianalisis terdapat 9 ruas jalan lokal Universitas Bengkulu. Ruas jalan yang ditinjau akan dilalui pengguna Gedung I seperti terdapat pada Gambar 7. Sembilan ruas jalan diberi nama berdasarkan penomoran yaitu, dari R01 sampai R09. Dikarenakan belum terdapatnya nama pada tiap jalan lokal Universitas Bengkulu.

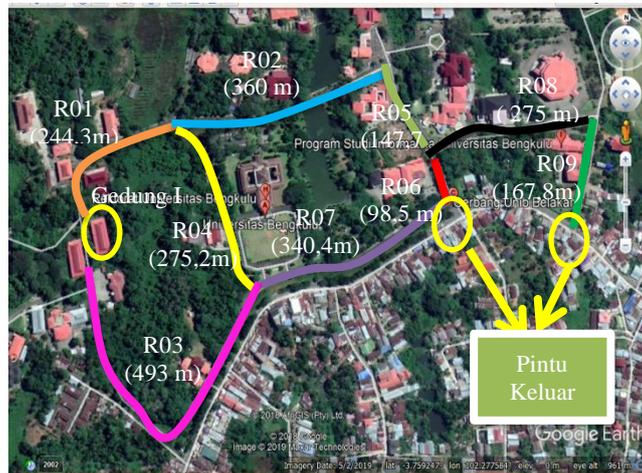
Sembilan ruas jalan dimodelkan menjadi 4 rute alternatif tinjauan ketika melakukan evakuasi. Rute alternatif yang ditinjau nantinya akan dipilih melalui kuesioner oleh pengguna Gedung I ketika melakukan evakuasi. Empat rute alternatif tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

Keterangan 4 rute jalan tinjauan:

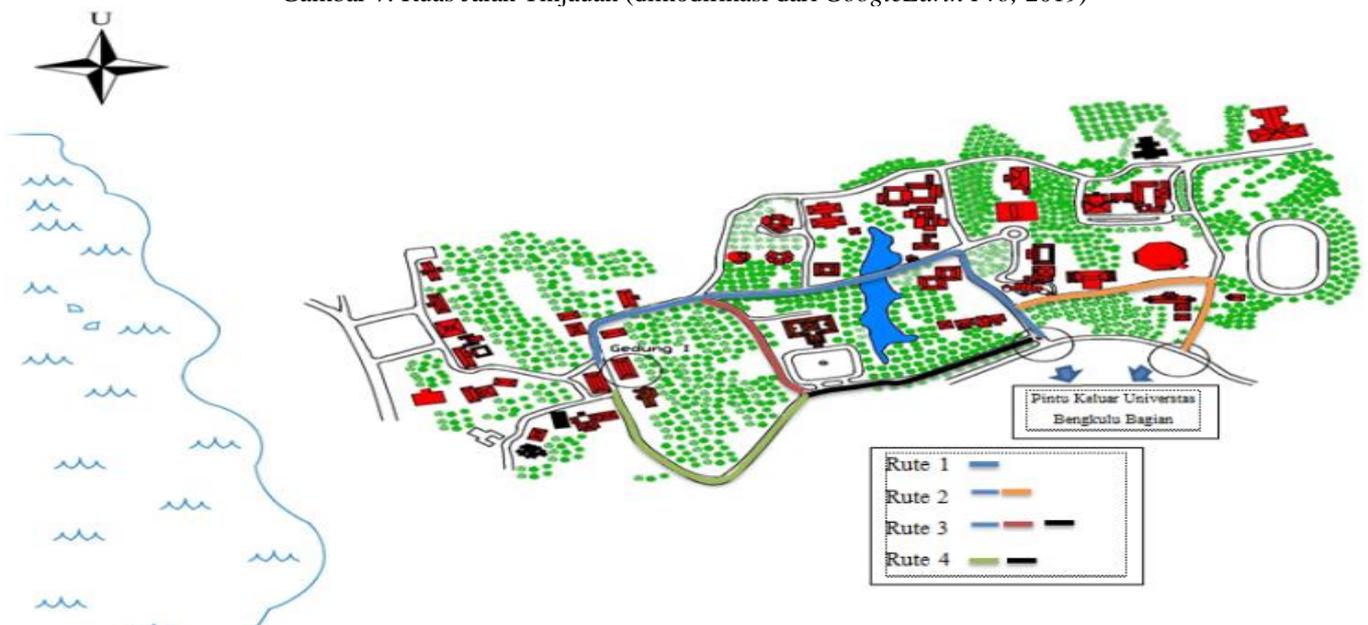
1. Rute 1 terdiri dari ruas R01, R02, R05, dan R06 dengan total panjang 850,5 m
2. Rute 2 terdiri dari ruas R01, R02, R05, R08, dan R09 dengan total panjang 1.194,8 m
3. Rute 3 terdiri dari ruas R01, R04, dan R07 dengan total panjang 859,9 m
4. Rute 4 terdiri dari ruas R03 dan R07 dengan total panjang 833,4 m

Keterangan 9 ruas jalan yang ditinjau:

1. R01 = Ruas jalan pada sisi kanan gedung, menuju pertigaan belakang sepanjang 244,3 m
2. R02 = Ruas jalan dari pertigaan belakang rektorat menuju GB 2 melalui danau sepanjang 360 m
3. R03 = Ruas Jalan dari Gedung I (pada bagian kiri) melalui Gedung UPT menuju persimpangan di halaman depan Rektorat sepanjang 493 m
4. R04 = Ruas jalan pada sisi kanan rektorat 275,2 m
5. R05 = Ruas jalan dari GB 2 sampai Gedung LPTIK sepanjang 147,7 m
6. R06 = Ruas jalan dari LPTIK menuju Pintu keluar 1 (Dekanat FISIP) sepanjang 98,5 m
7. R07 = Ruas jalan dari depan Gedung Rektorat menuju pintu keluar 1 (Melalui Dekanat FISIP) sepanjang 340,4 m
8. R08 = Ruas jalan dari LPTIK sampai Dekanat Teknik (Melalui GSG) sepanjang 275 m
9. R09 = Ruas jalan dari Dekanat Teknik menuju pintu keluar 2 sepanjang 167,8 m



Gambar 7. Ruas Jalan Tinjauan (dimodifikasi dari *GoogleEarth Pro*, 2019)



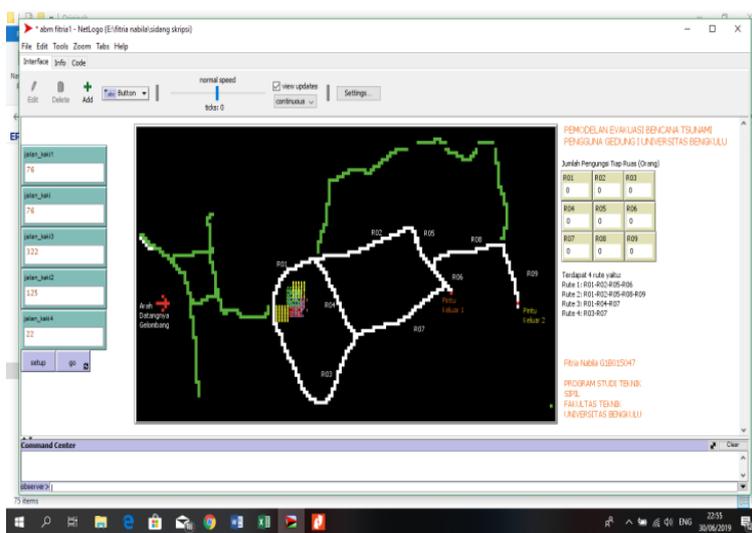
Gambar 8. Rute Alternatif Evakuasi

4.4 Hasil Percobaan

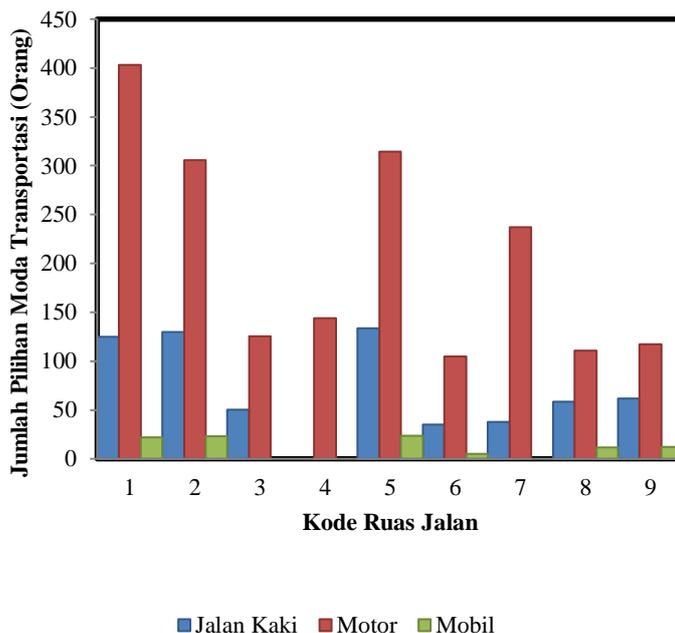
Hasil percobaan dilakukan dengan memodelkan agen pada NetLogo dengan melakukan perbandingan regresi linier sederhana menggambarkan kedekatan dari *output* NetLogo dengan hasil kuesioner. Tampilan pemodelan pada NetLogo dapat dilihat pada Gambar 9. Data kuesioner yang diperlukan adalah pilihan rute evakuasi bagi pengguna Gedung I. Jumlah kendaraan parkir diperlukan untuk menentukan waktu puncak penuhnya kendaraan parkir, untuk mengasumsikan waktu terjadi tsunami. Hasil survei parkir menunjukkan pukul 10.00-11.00 WIB adalah waktu puncak padatnya kendaraan di halaman parkir Gedung I Universitas Bengkulu.

Output pada simulasi berulang yang telah dilakukan diambil rata-rata nilai guna mendapatkan nilai terbaik. Maka, rata-rata agen yang melalui ruas jalan dalam bentuk koma akan dilakukan pembulatan. Percobaan yang dilakukan berulang sebanyak 307 menggunakan *behavior space running*.

Penentuan jumlah sampel percobaan menggunakan tabel Isaac dan Michael dengan persen keyakinan sebesar 5% sehingga didapat 307 percobaan. Rata-rata agen yang meninggalkan kawasan universitas sebanyak 611 orang/agen. Keseluruhan jumlah agen pada pemodelan sebanyak 650 orang – 611 orang = 39 orang/agen yang diasumsikan gagal ketika melakukan evakuasi. Rekapitulasi penggunaan moda kendaraan ketika evakuasi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Tampilan Pemodelan pada NetLogo



Gambar 10. Diagram Perjalanan Evakuasi dalam Pemodelan

4.5 Analisis Kinerja Jalan dalam Pemodelan

Simulasi dilakukan dengan menjadikan 1 *agent* di keadaan sebenarnya sama dengan 1 *agent* pada saat simulasi. Hasil dari simulasi yang dibangun menunjukkan jumlah perjalanan pengungsi akibat bencana tsunami. Jumlah pengungsi yang melalui ruas jaringan jalan perlu dilakukan konversi ke dalam satuan kendaraan ringan (skr). Dalam menghitung kapasitas ruas jalan, dibutuhkan data geometrik dari ruas jalan yang akan ditinjau.

Analisis hasil permodelan yang telah dibangun mendapatkan derajat kejenuhan di setiap ruas jalan tinjauan yang dilalui pengungsi Gedung I Universitas Bengkulu, terdapat 9 ruas jalan alternatif yang digunakan sebagai rute evakuasi oleh pengguna Gedung I. Perbandingan data jumlah (Tabel 3) agen pada kuesioner dan simulasi NetLogo yang menempati ruas jalan yaitu $R^2 = 0,905$ atau 90,5%. Hasil tersebut menunjukkan lebih dari 70% data pada kuesioner dan simulasi NetLogo memiliki kemiripan sesuai dengan kriteria validasi yang dibutuhkan (Gambar 11).

Tabel 2. Data Geometrik Ruas Jalan

No	Kode Jalan	Tipe Jalan	Lebar Jalan (m)	Lebar Bahu (m)
1	R01	2/2 TT	5	0,5000
2	R02	2/2 TT	5	0,5000
3	R03	2/2 TT	3	0,5000
4	R04	2/2 TT	5	0,5000
5	R05	2/2 T	8	0,5000
6	R06	2/2 T	8	0,5000
7	R07	2/2 TT	6	0,5000
8	R08	2/2 TT	6	0,5000
9	R09	Jalan satu arah	4	0,3000

Tabel 3. Jumlah Agen pada Ruas Tinjauan Ketika Evakuasi

No	Kode Jalan	Jumlah Agen pada Kuisisioner	Jumlah Agen Output NetLogo
1	R01	542	550
2	R02	433	459
3	R03	101	175
4	R04	108	144
5	R05	433	472
6	R06	209	144
7	R07	209	275
8	R08	224	181
9	R09	224	192

Nilai derajat kejenuhan dihitung berdasarkan analisis dalam pemodelan menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2014). Hasil konversi model dan hitungan kapasitas ruas jalan yang sudah di tinjau dilakukan perhitungan derajat kejenuhan (D_j) (Tabel 4 dan 5). Diagram Perbandingan Derajat Kejenuhan harian dengan Evakuasi Pemodelan dapat dilihat pada Gambar 12.

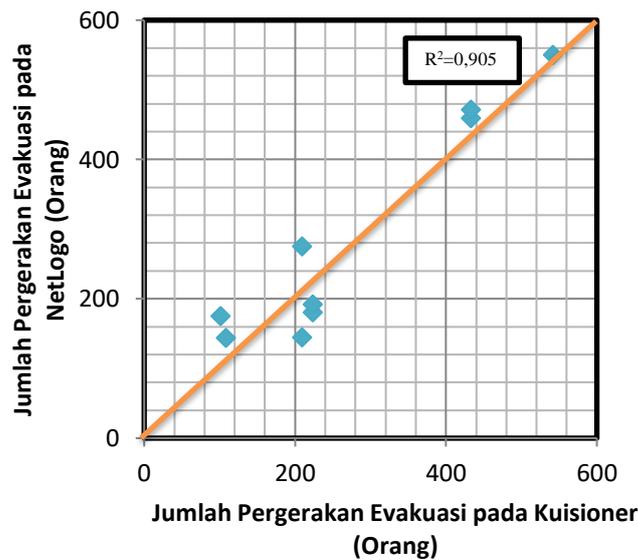
Waktu tempuh adalah waktu yang digunakan pengguna gedung ketika menempuh pintu keluar melalui ruas-ruas jalan. Waktu tempuh pergerakan pengguna gedung dapat diamati secara manual pada NetLogo. Waktu tempuh pergerakan agen yang diamati pada NetLogo diperoleh rata-rata 14,08 menit atau 844,8 detik untuk 850 *ticks*. Sehingga waktu 1 detik mewakili 1,01 *ticks* pada NetLogo. Waktu tempuh yang diperlukah ketika evakuasi pengguna Gedung I lebih lama ketika waktu harian Rekapitulasi waktu di tiap ruas jalan terdapat pada Gambar 13. Kecepatan dapat dihitung setelah waktu tempuh diperoleh. Kecepatan paling tinggi terdapat pada R02 dan R07, R02 memiliki derajat kejenuhan yang tinggi dan sebagai jalur yang banyak dipilih oleh pengguna gedung I. Diagram hubungan kecepatan harian dan evakuasi Pengguna Gedung I terdapat pada Gambar 14.

Tabel 4. Perhitungan Derajat Kejenuhan Evakuasi pada NetLogo

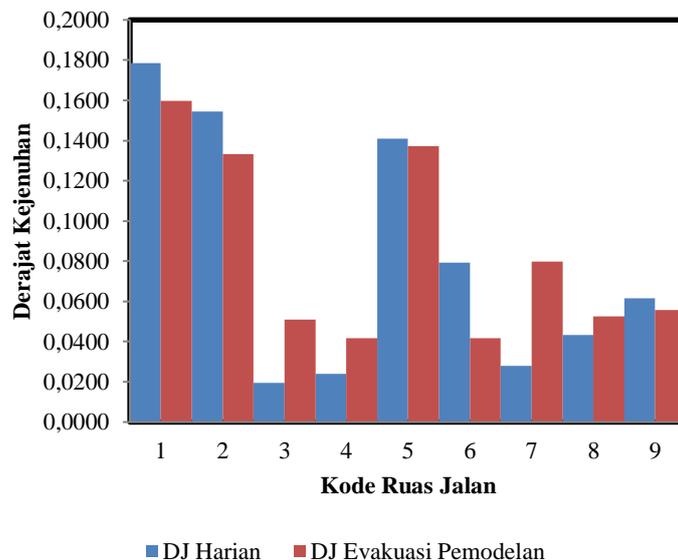
Kode	Volume model (orang)	Distribusi Mode			Kapasitas Angkut			Volume Model (skr / jam)	Kapasitas jalan (skr/jam)	VCR
		MC (73%)	LV (3%)	HV (0%)	MC (0,4)	LV (1)	Jalan Kaki (0)			
R01	550	401,50	18,15	0	160,60	18,15	0	178,75	1118,74	0,16
R02	459	335,07	15,15	0	134,03	15,15	0	149,18	1118,74	0,13
R03	175	127,75	5,78	0	51,10	5,78	0	56,88	1118,74	0,05
R04	144	105,12	4,75	0	42,05	4,75	0	46,80	1118,74	0,04
R05	472	344,56	15,58	0	137,82	15,58	0	153,40	1118,74	0,14
R06	144	105,12	4,75	0	42,05	4,75	0	46,80	1118,74	0,04
R07	275	200,75	9,08	0	80,30	9,08	0	89,38	1118,74	0,08
R08	181	132,13	5,97	0	52,85	5,97	0	58,83	1118,74	0,05
R09	192	140,16	6,34	0	56,06	6,34	0	62,40	1118,74	0,06

Tabel 5. Perhitungan Derajat Kejenuhan Harian Gedung I pada Kuisisioner

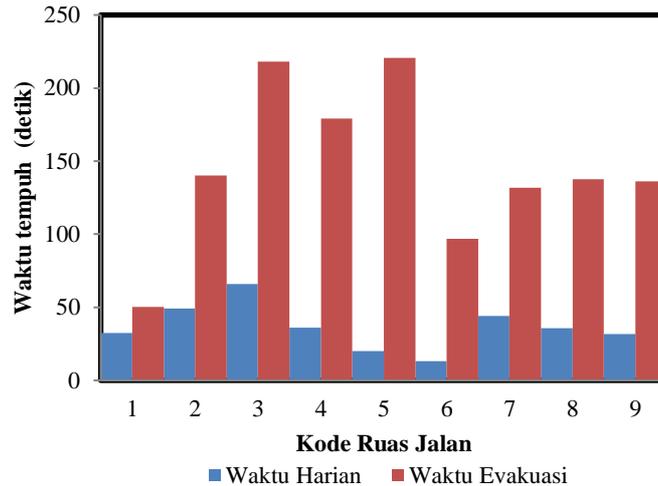
Kode	Volume model (orang)	Distribusi Mode			Kapasitas Angkut			Volume Model (skr / jam)	Kapasitas jalan (skr/jam)	VCR
		MC (90%)	LV (0,04 %)	HV (0%)	MC (0,4)	LV (1)	Jalan Kaki (0)			
R01	586	527,14	23,43	0	210,86	23,43	0	234,29	1312,84	0,18
R02	507	456,43	20,29	0	182,57	20,29	0	202,86	1312,84	0,15
R03	64	57,86	2,57	0	23,14	2,57	0	25,71	1312,84	0,02
R04	79	70,71	3,14	0	28,29	3,14	0	31,43	1312,84	0,02
R05	507	456,43	20,29	0	182,57	20,29	0	202,86	1440,57	0,14
R06	286	257,14	11,43	0	102,86	11,43	0	114,29	1440,57	0,08
R07	143	128,57	5,71	0	51,43	5,71	0	57,14	2039,59	0,03
R08	221	199,29	8,86	0	79,71	8,86	0	88,57	2039,59	0,04
R09	586	527,14	23,43	0	210,86	23,43	0	234,29	1312,84	0,18



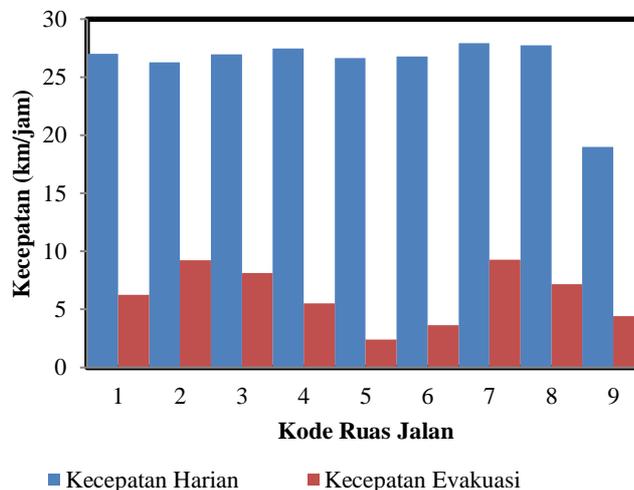
Gambar 11. Grafik Regresi Linier Menggambarkan Kedekatan Hasil Responden dan Simulasi NetLogo



Gambar 12. Diagram Perbandingan Derajat Kejenuhan Harian dan Evakuasi Pemodelan pada Gedung I Universitas Bengkulu



Gambar 13. Diagram Perbandingan Waktu Tempuh Harian dan Evakuasi Pemodelan



Gambar 14. Diagram Perbandingan Kecepatan Harian dan Evakuasi Pemodelan

5. KESIMPULAN

1. Populasi *agent* pada Gedung I Bengkulu adalah sebanyak 650 orang dan jaringan jalan yang ditinjau adalah jaringan jalan lokal Universitas Bengkulu
2. Berdasarkan simulasi, NetLogo dapat memodelkan proses evakuasi dengan perbandingan terhadap kuesioner sebesar $R^2=0,905$ atau 90,5%.
3. Dari hasil kuesioner persentase alternatif rute yang telah dipilih oleh responden yaitu Rute 1 sebesar 27,8%, Rute 2 sebesar 34,4%, Rute 3 sebesar 16,7%, Rute 4 sebesar 21,1%. Hasil kuesioner menunjukkan bahwa responden banyak memilih rute alternatif 2 dengan persentase 34,4%. Responden (orang) lebih memilih rute Alternatif 2 dikarenakan rute tersebut merupakan jalur yang biasa dilalui jika menuju pintu keluar universitas dan mudah dijangkau oleh responden. Selain itu tingkat kualitas jalan lebih lebar dan tidak terlalu jauh. Rute 2 merupakan jarak yang cukup panjang tetapi memiliki lebar jalan yang lebih memadai daripada rute lainnya. Selain itu, melalui rute 2, sangat efektif untuk menjauhi arah datangnya gelombang sesuai dengan arah pintu keluar. Pada rute 1, 3, dan 4 responden akan menuju pintu keluar melalui R06 dan R07, sehingga mengindikasikan bahwa pintu keluar pada jalur tersebut akan mengalami kepadatan walaupun jarak tempuh lebih pendek dari rute 2.
4. Nilai derajat kejenuhan (D_j) terbesar pada titik masuk ke ruas jaringan jalan R01, R02, dan R05. Terdapat 6 ruas jalan yang memiliki angka kejenuhan 0,0418 sampai 0,0799 yaitu R03, R04, R06, R07, R08, R09. Dua ruas jalan lainnya memiliki angka derajat kejenuhan 0,1598 (R01), 0,1333 (R02), dan 0,1371 (R05). Keseluruhan ruas jalan masih dalam rentang derajat kejenuhan $< 0,5$. Ditinjau menurut peraturan PKJI 2014 Ruas jalan masih memadai dalam pergerakan evakuasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini banyak yang membantu penulis, sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Gedung I Universitas Bengkulu yang telah memberikan izin untuk melaksanakan penelitian di Gedung I dan menyelesaikan penelitian dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bonabeau, E. 2006. Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems Dalam *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America* (hal 7280 – 7287).
- [2] Gaffar, E.Z. 2007. Pemetaan dan Kajian Bencana Tsunami Daerah Kota Bengkulu. Proseding Seminar Geoteknologi Kontribusi Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Berkelanjutan Bandung 3 Desember 2007, ISBN: 978-979-799-255-5, Bandung, Puslit Geoteknologi – LIPI.
- [3] Harlan, J. 2018. Analisis Regresi Linier. Depok, Gunadarma
- [4] Hardiansyah, Muthohar, I., Priyanto, S., dan Suprama, L.B. 2016. Konsep Pemodelan Transportasi untuk Evakuasi Bencana. Jurnal Transportasi Forum Studi Transportasi Antar-Perguruan Tinggi.
- [5] Kolinug, Lendy A., Sendow, T.K., Jansen, F., dan Manoppo, M.R.E. 2013. Analisa Kinerja Jaringan Jalan dalam Kampus Universitas Sam Ratulangi. Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.2, Januari 2013 (119-127), Manado, Universitas Sam Ratulangi.
- [6] Maryuliana, Subroto, I.M.I., Haviana, S.F.C. 2016. Sistem Informasi Angket Pengukuran Skala Kebutuhan Materi Pembelajaran Tambahan sebagai Pendukung Pengambilan Keputusan di Sekolah Menengah Atas Menggunakan Skala Likert. Volume 1 No. 2 Oktober 2016, Jurnal Transistor Elektro dan Informatika TRANSISTOR EI), Teknik Informatika, Universitas Islam Sultan Agung.
- [7] Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- [8] Natawidjaya, D.H. 2007. Tectonic Setting Indonesia dan Pemodelan Sumber Gempa dan Tsunami. Pelatihan Pemodelan Run-Up Tsunami, Ristek, 20-24 Agustus 2007, Geoteknologi – LIPI.
- [9] Nur, A.M. 2010. Gempa Bumi, Tsunami dan Mitigasinya. Volume 7 No. 1 Januari 2010, Kebumen, Balai Informasi dan Konservasi Kebumihan Karangasambung – LIPI.
- [10] Susiloningtyas, D., Boer, M., Adrianto, L., Yulianda, F. 2015. Pemodelan Berbasis Agen (ABM) untuk Pengelolaan Aktivitas Migrasi Musiman Nelayan Andon Cumi-cumi di Pulau Salura. Volume 10 No. 1 6 Juni 2015, Jakarta, Indonesia.
- [11] Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2014. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- [12] Spahn, H., Hoppe, M., Usdianto, B., dan Vidiarina, H. 2010. Perencanaan untuk Evakuasi Tsunami: Panduan untuk Pemerintah Daerah dan Pemangku Kepentingan Lain di Wilayah Pesisir Indonesia. Kerjasama Indonesia – Jerman untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami (GITNEWS) Peningkatan Kapasitas Komunitas Lokal.
- [13] Sugiyono. 2014. Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- [14] Tamin, O.Z. 2000. Perencanaan & Pemodelan Transportasi Edisi Kedua. Bandung, Institut Teknologi Bandung.

Estimasi Gaya Tarik pada Kabel Jembatan *Cable Stayed* dengan Pengujian Dinamik

Hinawan Teguh Santoso

Prodi Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Pekerjaan Umum
E-mail : hteguhsantoso@gmail.com

ABSTRAK

Kabel merupakan salah satu elemen utama pada jembatan *cable stayed* yang fungsinya memikul dan meneruskan beban pada balok dan rantai jembatan ke struktur pylon. Elemen kabel perlu selalu dilakukan *monitoring* dan pemeliharaan selama umur jembatan, sehingga gaya tarik kabel yang bekerja tidak melampaui kapasitasnya. Salah satu metode dapat dilakukan dengan uji dinamik, di mana nilai parameter dinamik (frekuensi dan mode getar) berkorelasi dengan gaya tarik kabel. Selain parameter dinamik, gaya tarik kabel juga dipengaruhi oleh parameter fisiknya, yaitu parameter tak-berdimensi λ^2 akibat efek kelengkungan (*sag effect*) dan parameter tak-berdimensi ξ akibat efek kekakuan lentur (*bending stiffness effect*). Berbagai rumusan pendekatan telah dikembangkan oleh para ahli, di antaranya: *taut string*, *beam string*, *wei-xin*, dan *zui et.al. theory*. Studi ini akan membahas perbandingan rumusan tersebut dengan mengambil studi kasus Jembatan Pedamaran 1, Riau. Hasil studi menunjukkan bahwa parameter tak berdimensi λ^2 dan ξ “cukup berpengaruh” dan perlu ditinjau dalam perhitungan, di mana kombinasi dari kedua parameter tersebut memberikan pengaruh sebesar 1,77% - 6,00% terhadap estimasi gaya tarik kabel. Penggunaan rumusan empiris *taut string theory* dan *beam string theory* memberikan estimasi gaya tarik kabel dengan tingkat kesalahan di bawah 7,0%, sedangkan rumusan empiris *wei-xin dan zui et.al.* memberikan hasil dengan akurasi paling baik dengan kesalahan di bawah 3,0%.

Kata Kunci: *cable stayed*, *taut string theory*, *beam string theory*, gaya tarik kabel, pengujian dinamik

ABSTRACT

Cable is one of the main elements in cable stayed bridges whose function is to support and transfer the load on the beam and slab of the bridge to the pylon structure. Cable elements must always be monitored and maintained during the life of the bridge, so that the tension force of the working cable does not exceed its capacity. One method can be done with a dynamic test, where the value of dynamic parameters (frequency and vibration mode) correlates with the cable tension. In addition to dynamic parameters, the tensile strength of the cable is also influenced by its physical parameters, namely non-dimensional parameters λ^2 due to the sag effect and non-dimensional parameters ξ due to the bending stiffness effect. Various approaches have been developed by experts, including taut string, beam string, wei-xin, dan zui et.al. theory. This study will discuss the comparison of these formulations by taking a case study of Pedamaran 1 Bridge, Riau. The results of the study showed that the non-dimensional parameters λ^2 and ξ were “quite influential” and needed to be reviewed in calculations, where the combination of the two parameters had an effect of 1,77% - 6,00% on the estimated tension force of the cable. The use of empirical formulation of taut string theory and beam string theory provides estimates of cable tension force with errors below 7,0%, while the empirical formulations of wei-xin and zui et.al. results with the best accuracy with errors below 3,0%.

Keywords: *cable stayed*, *taut string theory*, *beam string theory*, cable tension force, dynamic test

1. PENDAHULUAN

Keberadaan konstruksi jembatan pada suatu ruas jalan memegang peranan yang cukup penting dalam hal menjaga konektivitas jaringan jalan. Perkembangan teknologi jembatan dan tuntutan kebutuhan jembatan yang dapat menghubungkan satu daerah ke daerah lain melewati sungai atau selat mendorong perkembangan konstruksi jembatan bentang panjang di Indonesia, salah satunya jembatan *cable stayed*. Binamarga [1] menjelaskan definisi dari jembatan *cable stayed* adalah struktur yang mempunyai sederetan kabel lurus yang dibentangkan miring, berfungsi memikul elemen horizontal kaku berupa balok, rangka dan boks yang dihubungkan ke menara (pilon) sebagai penahan utama. Dengan demikian, elemen utama dalam jembatan *cable stayed* adalah kabel dan pilon.

Kabel sebagai salah satu elemen utama dari jembatan *cable stayed* perlu untuk dilakukan *monitoring* dan pemeliharaan selama umur layan jembatan. Salah satu parameter utama yang diperhatikan yaitu besarnya gaya tarik kabel akibat menahan beban yang ada tidak melampaui dari kapasitas kabel yang ada. Salah satu metode pemeriksaan gaya yang bekerja pada kabel adalah dengan menggunakan uji dinamik (*vibration test*). *Output* dari pengujian ini berupa parameter dinamik, yaitu frekuensi getar yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung estimasi besarnya gaya pada kabel.

Kajian terkait metode perhitungan estimasi gaya pada kabel menggunakan uji dinamis pernah dilakukan oleh Byeong et.al. [3] pada Jembatan *cable stayed* Seohae, Korea. Hasil studi menunjukkan bahwa dari berbagai macam metode dan teori pendekatan yang digunakan memberikan nilai akurasi secara konsisten di bawah 3,00% terhadap gaya aktual pada kabel. Kajian lain terkait validasi gaya kabel pada jembatan *cable stayed* juga dilakukan oleh Hidayat et. al. [6] pada Jembatan Merah Putih, Ambon dengan perbedaan hasil pengujian dan perhitungan estimasi gaya kabel sebesar 0,28% - 9,23% terhadap gaya kontrol kabel. Debora et.al. [9] menyatakan bahwa metode estimasi gaya tarik kabel berdasar nilai frekuensi dapat dilakukan dengan berbagai metode atau teori pendekatan dengan akurasi kesalahan di bawah 10,0%. Metode paling sederhana dan mudah dilakukan yaitu dengan *string theory* meskipun mempunyai tingkat kesalahan paling besar, sedangkan metode yang paling banyak digunakan saat ini karena keakuratan hasilnya, yaitu *wei-xin theory*.

2. STUDI PUSTAKA

Metode estimasi besarnya gaya pada kabel berdasarkan uji dinamik ditentukan oleh parameter dinamik dan parameter fisik dari kabel. Parameter dinamik yang dimaksud adalah mode getar dan frekuensi dari kabel. Adapun parameter fisik kabel dipengaruhi oleh pengaruh kelengkungan kabel (*sag effect*) dan pengaruh kekakuan lentur kabel (*bending stiffness effect*). Pendekatan dengan formula empiris telah dikembangkan oleh beberapa ahli untuk memperkirakan besarnya gaya kabel berdasarkan uji dinamik dan dapat dikelompokkan ke dalam 4 teori, yaitu:

2.1 Flat Taut String Theory

Teori paling sederhana ini mengabaikan efek kelengkungan dan efek kekakuan lentur dari kabel.

$$T = 4mL^2 \left(\frac{f_n}{n}\right)^2 \quad (1)$$

di mana T (gaya tarik kabel), m (berat kabel), L (panjang kabel), f_n (frekuensi pada mode n), dan n (mode getar). Teori ini dengan mudah digunakan untuk menghitung gaya kabel berdasar nilai frekuensinya. Rumusan sederhana ini sesuai untuk kabel tunggal pendek dan mempunyai keterbatasan untuk kabel Panjang, di mana efek kelengkungan dan kekakuan lenturnya cukup tinggi. Namun demikian, rumusan ini dapat digunakan untuk membantu perkiraan awal gaya tarik kabel.

2.2 Beam String Theory

Dalam teori ini, rumusan pendekatan yang digunakan sudah memperhitungkan efek kekakuan lentur kabel yang direpresentasikan oleh nilai kekakuan material, yaitu EI [10].

$$\left(\frac{f_n}{n}\right)^2 = \left(\frac{1}{4mL^2}\right)T + \left(\frac{n^2\pi^2}{4mL^4}\right)EI \quad (2)$$

di mana T (gaya tarik kabel), m (berat kabel), L (panjang kabel), E (modulus elastisitas kabel), dan I (inersia kabel). Pada rumusan ini, gaya kabel dan kekakuan lentur kabel belum diketahui, selanjutnya prosedur regresi linear digunakan untuk mengukur frekuensi dan mode getarnya. Rumusan ini lebih cocok digunakan pada kabel pendek dan kaku, dan kurang sesuai untuk kabel dengan efek kelengkungan yang tinggi. Terlepas dari keterbatasan itu, pendekatan ini sering digunakan dalam lapangan karena kesederhanaan dan kecepatannya.

2.3 Wei-Xin Theory

Referensi [11] memberikan suatu pendekatan formula di mana penggunaannya bergantung pada besaran parameter tak-berdimensi dari kabel, yaitu: λ^2 yang merepresentasikan pengaruh dari efek lengkungan kabel dan ξ yang merepresentasikan pengaruh dari efek kekakuan lentur kabel.

2.3.1 Teori Wei-Xin (1) untuk perkiraan gaya tarik kabel dengan mempertimbangkan efek kelengkungan kabel:

$$T = 4m(f_1L)^2 ; (\lambda^2 \leq 0,17) \quad (3)$$

$$T = 4m(f_1L)^2 ; (0,17 < \lambda^2 < 4\pi^2) \quad (4)$$

$$T = ml^2 f^2 ; (4\pi^2 \leq \lambda^2) \quad (5)$$

2.3.2 Teori Wei-Xin (2) untuk perkiraan gaya tarik kabel dengan mempertimbangkan efek kekakuan lentur kabel:

$$T = 3,432ml^2 f^2 - 45,191 \frac{EI}{l^2} ; (0,17 \leq \xi \leq 18) \quad (6)$$

$$T = m \left(2lf - \frac{2,363}{l} \sqrt{EI/m} \right)^2 ; (18 < \xi \leq 210) \quad (7)$$

$$T = 4ml^2 f^2 ; (210 < \xi) \quad (8)$$

2.4 Combination Sag & Bending Stiffness Theory

Teori ini menggabungkan kombinasi pengaruh efek kelengkungan kabel dan efek kekakuan lentur dalam memperkirakan besarnya gaya tarik kabel. Zui et.al. [5] memberikan kriteria yang digunakan dalam formulanya, yaitu:

2.4.1 Kabel dengan pengaruh kelengkungan kecil ($\Gamma \geq 3$),

$$T = 4m(f_1L)^2 \left[1 - 2,2 \frac{c}{f_1} - 0,55 \left(\frac{c}{f_1} \right)^2 \right]; (17 \leq \xi_1) \tag{9}$$

$$T = 4m(f_1L)^2 \left[0,865 - 11,6 \left(\frac{c}{f_1} \right)^2 \right]; (6 \leq \xi_1 \leq 17) \tag{10}$$

$$T = 4m(f_1L)^2 \left[0,828 - 10,5 \left(\frac{c}{f_1} \right)^2 \right]; (0 \leq \xi_1 \leq 6) \tag{11}$$

2.4.2 Kabel dengan pengaruh kelengkungan besar ($\Gamma > 3$),

$$T = m(f_2L)^2 \left[1 - 4,40 \frac{c}{f_2} - 1,10 \left(\frac{c}{f_2} \right)^2 \right]; (60 \leq \xi_1) \tag{12}$$

$$T = m(f_2L)^2 \left[1,03 - 6,33 \frac{c}{f_2} - 1,58 \left(\frac{c}{f_2} \right)^2 \right]; (17 \leq \xi_1 \leq 60) \tag{13}$$

$$T = m(f_2L)^2 \left[0,882 - 85,0 \left(\frac{c}{f_1} \right)^2 \right]; (0 \leq \xi_1 \leq 17) \tag{14}$$

2.4.3 Kabel dengan mode getar yang lebih tinggi:

$$T = \frac{4m}{n^2} (f_1L)^2 \left[1 - 2,20 \frac{nc}{f_n} \right]; (200 \leq \xi_1), (2 \leq n) \tag{15}$$

dimana, $C = \sqrt{(EI)/(mL^4)}$; $\xi_1 = \sqrt{T/EI} \cdot L$; $\Gamma = \sqrt{(wL)/(128EAm\delta^3 \cos^5 \theta)}$ $\left[\frac{0,31\xi_1+0,5}{0,31\xi_1-0,5} \right]$

δ = rasio kelengkungan terhadap panjang

3. METODE PENELITIAN

3.1 Objek Studi

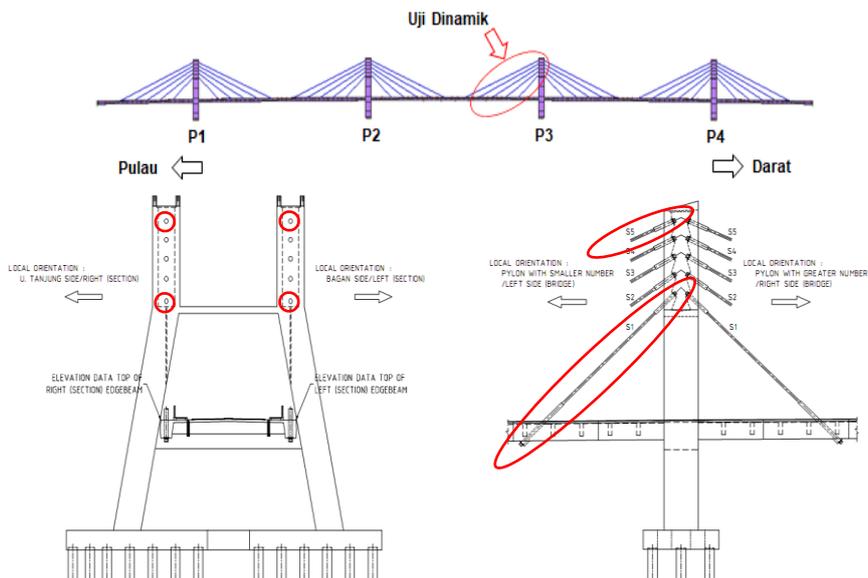
Penelitian ini akan mengambil studi kasus pada Jembatan Pedamaran I yang terletak di Kabupaten Rokan Hilir, Provinsi Riau. Jembatan ini mempunyai total panjang 1020,80 meter yang terdiri dari: 5 bentang pada jembatan utama, 9 bentang pada jembatan pendekat, dan beberapa rangkaian *slab on pile*. Konstruksi jembatan utama berupa *cable stayed* dengan bentang 111 meter, jembatan pendekat berupa *concrete box girder* dengan bentang 65 meter, serta konstruksi *slab on pile* sepanjang 216 meter.



Gambar 1. Dokumentasi Jembatan Pedamaran I [Dok. Pribadi]

Pengujian dinamik pada elemen kabel dilaksanakan pada pilon P3 kiri atau sisi arah pulau, yaitu pada:

- a) Kabel S1 – Sisi Bagan (*Left Section*),
- b) Kabel S5 – Sisi Bagan (*Left Section*),
- c) Kabel S1 – Sisi Tanjung (*Right Section*),
- d) Kabel S5 – Sisi Tanjung (*Right Section*).



Gambar 2. Lokasi uji dinamik pada kabel S1 dan S5 di pylon P3 sisi pulau [8]

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengujian dinamik pada elemen kabel dilakukan dengan menggunakan eksitasi beban luar, di mana sebuah *hammer* (berat $\pm 5\text{kg}$) dipukulkan pada tendon kabel sehingga terjadi bangkitan getaran. Getaran tersebut akan diterima dan direkam oleh sensor *accelerometer*, untuk selanjutnya data disimpan dan ditampilkan secara numeris ataupun grafis menggunakan komputer.



Gambar 3. Sensor *accelerometer* dan perangkat pengujian dinamik Bridge Diagnostic Inc. [4]

Data getaran hasil pembacaan sensor masih dalam domain waktu (*time domain*) dan selanjutnya diubah ke dalam domain frekuensi (*frequency domain*) dengan menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk mendapatkan nilai frekuensi getar dari kabel. Nilai frekuensi yang didapat digunakan untuk memperkirakan besarnya gaya tarik (*tension*) kabel menggunakan rumus empiris dan membandingkannya dengan gaya tarik (*tension*) kabel pada saat *final lift-off* jembatan yang dilakukan oleh kontraktor. Dokumentasi pelaksanaan uji dinamik pada elemen kabel jembatan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemasangan sensor *accelerometer* dan eksitasi getaran dengan *hammer* [Dok. Pribadi]

4. DISKUSI

4.1 Data *Properties* Kabel

Properties dari elemen kabel yang digunakan dalam studi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Data properties elemen kabel* [8]

Deskripsi	Kabel S1	Kabel S5
Panjang (m)	22.09	56.85
Jumlah <i>strand</i> (buah)	37	55
Berat (kg/m)	40,77	60,61
Luas Area (m ²)	6,71 x10 ⁻³	9,98 x10 ⁻³
Mod. Elastisitas (N/m ²)	186 x10 ⁹	186 x10 ⁹
Momen Inersia (m ⁴)	7,69 x10 ⁻⁶	13,67 x10 ⁻⁶

4.2 Data *Final Lift-Off Cable Stay*

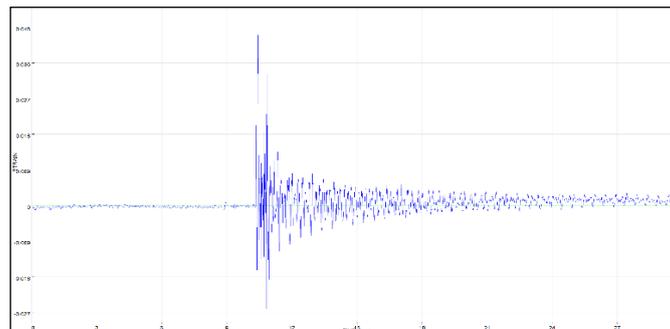
Berikut ini disajikan data *final lift-off* kabel Jembatan Padamaran I pada saat dilakukan *final setting* di tahap akhir pengecoran balok dan lantai jembatan.

Tabel 2. *Data final lift-off kabel Pylon 3* [7]

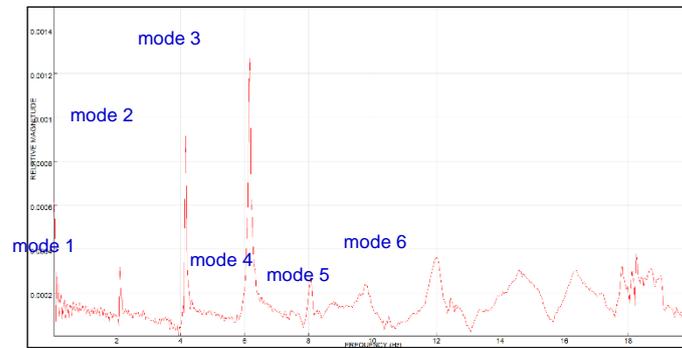
No	Lokasi	Gaya tarik/ <i>tension</i> kabel (ton)
1	Kabel S1 – Sisi Bagan	235,33
2	Kabel S5 – Sisi Bagan	346,65
3	Kabel S1 – Sisi Tanjung	231,19
4	Kabel S5 – Sisi Tanjung	349,06

4.3 Data Pengukuran *Accelerometer* dan Frekuensi

Hasil rekaman getaran pada uji dinamik selanjutnya dilakukan analisis respons getaran dengan teknik FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk mendapatkan frekuensi getar. Hasil analisis respons getaran dan FFT dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6, serta Tabel 3 dan 4.



Gambar 5. Grafik respons getaran dalam domain waktu [2]



Gambar 6. Grafik respons dalam domain frekuensi [2]

Tabel 3. Frekuensi Hasil Uji Dinamik pada Kabel S1

Mode ke-	Frekuensi (Hz)	
	S1-Sisi Bagan	S1-Sisi Tanjung
1	5,64	5,57
2	11,14	10,81
3	16,91	16,81

Tabel 4. Frekuensi Hasil Uji Dinamik pada Kabel S5

Mode ke-	Frekuensi (Hz)	
	S5-Sisi Bagan	S5-Sisi Tanjung
1	2,13	2,20
2	4,20	4,34
3	6,20	6,44
4	8,44	8,77
5	10,51	10,91
6	12,51	12,67

4.4 Pengaruh Parameter Tak-Berdimensi λ^2 dan ξ

Untuk mengetahui efek lengkungan kabel (*sag effect*) dan efek kekakuan lentur (*bending stiffness effect*) dari kabel, maka dapat digunakan rumus pendekatan seperti pada [11] dengan menghitung parameter tak-berdimensi λ^2 dan ξ .

Parameter tak-berdimensi λ^2 merepresentasikan pengaruh dari efek lengkungan kabel dimana terbagi dalam 3 kondisi, yaitu:

- (a) $\lambda^2 \leq 0,17 \rightarrow$ tidak ada pengaruh,
- (b) $0,17 \leq \lambda^2 \leq 4\pi^2 \rightarrow$ cukup berpengaruh,
- (c) $\lambda^2 > 4\pi^2 \rightarrow$ sangat berpengaruh,

Sedangkan parameter tak-berdimensi ξ merepresentasikan pengaruh dari efek kekakuan lentur dimana juga terbagi dalam 3 kondisi, yaitu:

- (a) $0 \leq \xi \leq 18 \rightarrow$ tidak ada pengaruh,
- (b) $18 \leq \xi \leq 210 \rightarrow$ cukup berpengaruh,
- (c) $\xi > 210 \rightarrow$ sangat berpengaruh,

Rumusan dari parameter tak-berdimensi λ^2 :

$$\lambda^2 = \left(\frac{mgl}{H}\right)^2 \frac{EAL}{HL_e}; L_e = 1 \left\{1 + \frac{1}{8} \left(\frac{mgl}{H}\right)^2\right\} \tag{16}$$

Rumusan dari parameter tak-berdimensi ξ :

$$\xi = \sqrt{\frac{T}{EI}} l \tag{17}$$

dimana m (berat kabel), g (gravitasi), E (modulus elastisitas, A (luas area), l (panjang kabel), H (gaya kabel), L_e (panjang efektif kabel), I (momen inersia), dan T (gaya tarik kabel). Nilai H diambil dari gaya pada kabel pada saat dilakukan *final lift-off*, Hasil perhitungan parameter tak-berdimensi λ^2 dan ξ disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Frekuensi Hasil Uji Dinamik pada Kabel S5

No	Kabel	Parameter tak-berdimensi	
		λ^2	ξ
1	S1 - Sisi Bagan	0,75	28,11
2	S1 - Sisi Tanjung	0,80	27,86
3	S5 - Sisi Bagan	5,13	65,85
4	S5 - Sisi Tanjung	5,02	66,08

Berdasarkan perhitungan pada tabel di atas dapat diketahui bahwa akibat efek lengkungan kabel (*sag effect*), kabel yang diuji pada Jembatan Pedamaran I termasuk dalam kategori “cukup berpengaruh” dalam perhitungan gaya kabel ($0,17 \leq \lambda^2 \leq 4\pi^2$). Sedangkan untuk efek kekakuan lentur (*bending stiffness effect*) juga termasuk dalam kategori “cukup berpengaruh” dalam perhitungan gaya kabel ($18 \leq \xi \leq 210$). Besarnya pengaruh dari efek lengkungan kabel dan kekakuan lentur akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

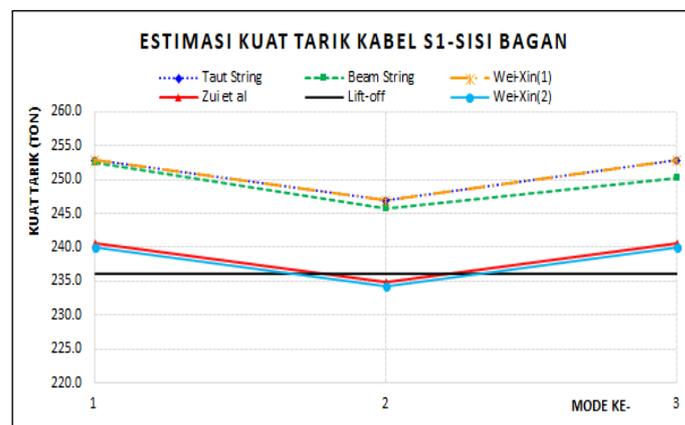
4.5 Perhitungan dan Analisis Gaya Tarik Kabel

Dengan mempergunakan persamaan empiris dari beberapa teori yang telah disajikan pada sub-bab sebelumnya, didapatkan besarnya estimasi gaya tarik (*tension force*) dari kabel uji dan kemudian dibandingkan dengan data *final lift-off* kabel seperti tersaji pada tabel dan gambar berikut ini.

a) Kabel S1-Sisi Bagan

Tabel 6. Estimasi gaya tarik pada kabel S1-sisi Bagan

Mode	Frekuensi (Hz)	Gaya Tarik (<i>Tension Force</i>) - ton				
		<i>Taut String</i>	<i>Beam String</i>	Wei-Xin(1)	Wei-Xin(2)	Zui et.al.
1	5,64	252,85	252,56	252,84	240,03	240,69
2	11,14	246,89	245,71	246,87	234,22	234,87
3	16,91	252,85	250,20	252,84	240,03	240,69
Rata-Rata		250,86	249,49	250,85	238,09	238,75

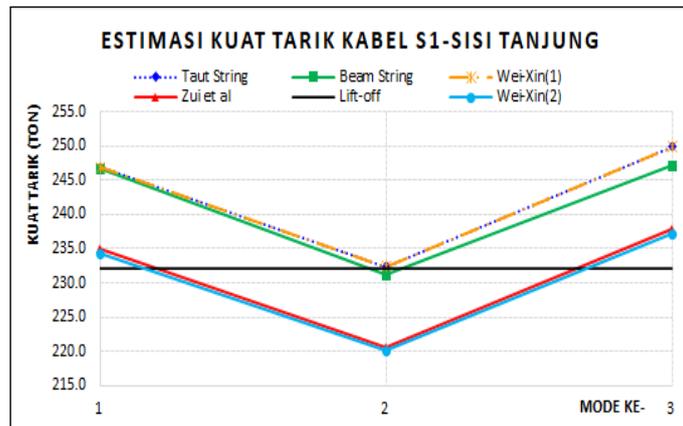


Gambar 7. Estimasi gaya tarik pada kabel S1-sisi Bagan

b) Kabel S1-Sisi Tanjung

Tabel 7. Estimasi gaya tarik pada kabel S1-sisi Tanjung

Mode	Frekuensi (Hz)	Gaya Tarik (<i>Tension Force</i>) - ton				
		<i>Taut String</i>	<i>Beam String</i>	Wei-Xin(1)	Wei-Xin(2)	Zui et.al.
1	5,57	246,90	246,61	246,89	234,23	234,89
2	10,81	232,34	231,16	232,32	220,05	220,68
3	16,81	249,87	247,22	249,86	237,12	237,78
Rata-Rata		250,86	249,49	243,02	230,47	238,75

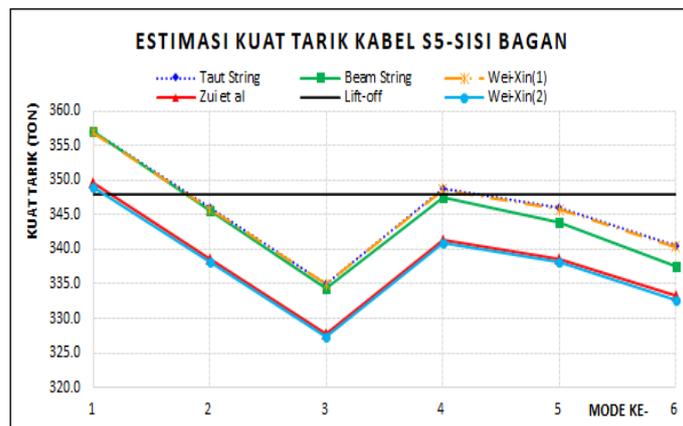


Gambar 8. Estimasi gaya tarik pada kabel S1-sisi Tanjung

c) Kabel S5-Sisi Bagan

Tabel 8. Estimasi gaya tarik pada kabel S5-sisi Bagan

Mode	Frekuensi (Hz)	Gaya Tarik (<i>Tension Force</i>) - ton				
		Taut String	Beam String	Wei-Xin(1)	Wei-Xin(2)	Zui et.al.
1	2.13	357.02	356.95	356.89	349,07	349.56
2	4.20	345.94	345.62	345.80	338,11	338.59
3	6.20	335.05	334.34	334.90	327,35	327.82
4	8.44	348.69	347.43	348.55	340,83	341.32
5	10,51	345,94	343,96	345,80	338,11	338,59
6	12,51	340,47	337,63	340,33	332,71	333,18
Rata-Rata		345.52	344.32	345.38	337,70	338.18

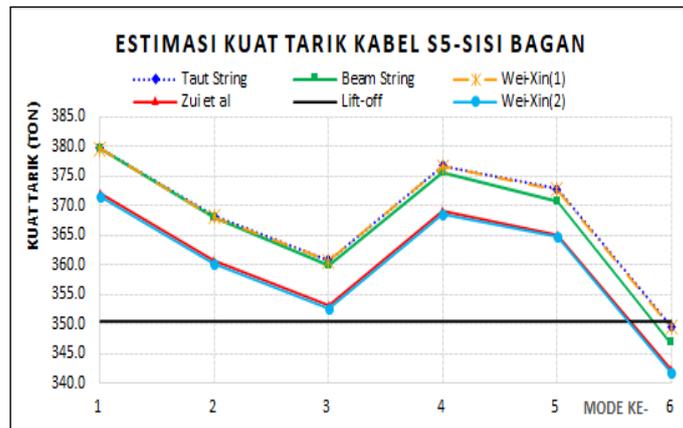


Gambar 9. Estimasi gaya tarik pada kabel S5-sisi Bagan

d) Kabel S5-Sisi Tanjung

Tabel 9. Estimasi gaya tarik pada kabel S5-sisi Tanjung

Mode	Frekuensi (Hz)	Gaya Tarik (<i>Tension Force</i>) - ton				
		Taut String	Beam String	Wei-Xin(1)	Wei-Xin(2)	Zui et.al.
1	2,20	379,69	379,61	379,57	371,48	371.99
2	4,34	368,25	367,93	368,13	360,17	360.67
3	6,44	360,74	360,02	360,61	352,74	353.23
4	8,77	376,80	375,54	376,68	368,63	369.13
5	10,91	372,80	370,83	372,68	364,68	365.18
6	12,67	349,62	346,77	349,48	341,74	342.23
Rata-Rata		367,98	366,78	367,86	359,91	360,40

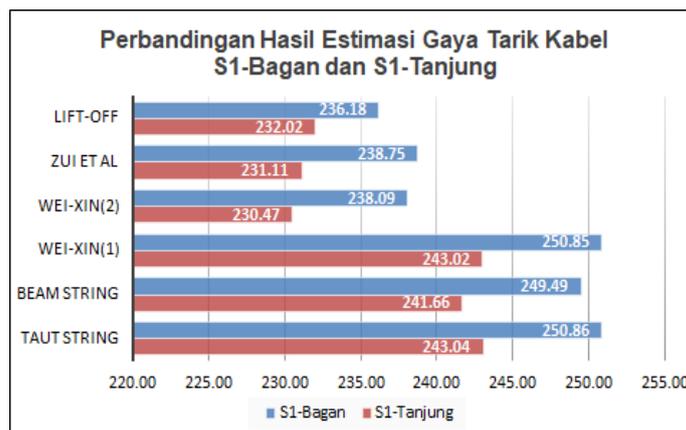


Gambar 10. Estimasi gaya tarik pada kabel S5-sisi Tanjung

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, selanjutnya diperbandingkan hasil estimasi gaya tarik kabel dari masing-masing formula empiris terhadap data hasil *final lift-off* kabel.

Tabel 10. Perbandingan estimasi gaya tarik pada kabel S1-sisi Bagan dan S1-sisi Tanjung

No	Teori	S1-Bagan	% thd <i>lift-off</i>	S1-Tanjung	% thd <i>lift-off</i>
1	Taut String	250,86	6,22	243,04	4,75
2	Beam String	249,49	5,64	241,66	4,15
3	Wei-Xin (1)	250,85	6,21	243,02	4,74
4	Wei-Xin (2)	238,09	0,81	230,47	0,67
5	Zui et.al.	238,75	1,09	231,11	0,39
6	Final lift-off	236,18	0,00	232,02	0,00



Gambar 11. Perbandingan estimasi gaya tarik pada kabel S1-sisi Bagan dan S1-sisi Tanjung

Tabel 11. Perbandingan estimasi gaya tarik pada kabel S5-sisi Bagan dan S5-sisi Tanjung

No	Teori	S5-Bagan	% thd <i>lift-off</i>	S5-Tanjung	% thd <i>lift-off</i>
1	Taut String	345,52	0,69	367,98	5,04
2	Beam String	344,32	1,03	366,78	4,70
3	Wei-Xin (1)	345,38	0,73	367,86	5,00
4	Wei-Xin (2)	337,70	2,93	359,91	2,74
5	Zui et.al.	338,18	2,80	360,40	2,88
6	Final lift-off	347,90	0,00	350,32	0,00



Gambar 12. Perbandingan estimasi gaya tarik pada kabel S5-sisi Bagan dan S5-sisi Tanjung

Dari Tabel 10 dan 11, serta Gambar 11 dan 12 dapat dilihat bahwa pengaruh efek lengkungan kabel (*sag effect*) pada kabel panjang (S5) memberikan pengaruh yang lebih besar jika dibandingkan pada kabel yang pendek (S1). Hal tersebut terlihat pada perbandingan antara teori *Taut String* dengan *Wei-Xin (1)*, di mana kabel panjang (S5) memberikan pengaruh 0,04% apabila dibandingkan dengan kabel pendek (S1) sebesar 0,01%. Sebaliknya, efek kekakuan lentur (*bending stiffness effect*) pada kabel pendek (S1) memberikan pengaruh yang lebih besar jika dibandingkan pada kabel yang panjang (S5). Hal tersebut terlihat pada perbandingan teori *Taut String* dengan teori *Wei-Xin (2)*, di mana kabel pendek (S1) memberikan pengaruh 4,08% - 5,41% bila dibandingkan dengan kabel panjang (S5) sebesar 2,25% - 2,30%.

Selanjutnya, pengaruh efek kekakuan lentur yang dihitung menggunakan teori *Beam String* dan *Wei-Xin (2)* memberikan pengaruh yang lebih besar apabila dibandingkan pengaruh efek lengkungan kabel yang dihitung dengan teori *Wei-Xin (1)*. Hal tersebut terlihat pada perbandingan antara teori *Taut String* dengan *Wei-Xin (1)* turun sekitar 0,01% - 0,04%, sedangkan pada perbandingan antara teori *Taut String* dengan teori *Beam String* turun sebesar 0,34% - 0,59% dan apabila dibandingkan teori *Wei-Xin (2)* turun sebesar 2,25% - 5,41%. Dengan menggunakan teori *Zui et al.*, di mana metode ini sudah memperhitungkan kombinasi kedua efek tersebut, didapatkan penurunan gaya tarik sebesar 1,77% - 4,55% dari gaya tarik saat *final lift-off*. Dengan demikian, berdasar beberapa teori yang digunakan dapat disimpulkan bahwa kombinasi dari efek lengkungan kabel dan efek kekakuan lentur memberikan pengaruh terhadap estimasi gaya tarik kabel sebesar 1,77% - 6,00% dari gaya tarik saat *final lift-off*.

Ditinjau dari ketepatan hasil estimasi kuat tarik kabel, dapat dilihat bahwa teori *Taut String* memberikan akurasi hasil yang paling kecil, dengan nilai selisih 6,22% (kecuali pada kabel S5-Bagan). Akurasi paling besar berturut-turut dapat diperoleh menggunakan teori *Wei-Xin (2)* dengan rentang nilai 0,67% - 2,93% dan teori *Zui et al.* dengan rentang nilai 0,39% - 2,88%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan diskusi yang dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

- Parameter tak berdimensi λ^2 dan ξ untuk seluruh kabel yang diuji masuk dalam kategori “cukup berpengaruh”. Hal tersebut menunjukkan bahwa efek kelengkungan kabel (*sag effect*) dan efek kekakuan lentur (*bending stiffness effect*) perlu ditinjau dalam perhitungan estimasi gaya tarik kabel.
- Pengaruh efek lengkungan kabel pada kabel panjang (S5) memberikan pengaruh yang lebih besar jika dibandingkan pada kabel yang pendek (S1). Sebaliknya, efek kekakuan lentur pada kabel pendek (S1) memberikan pengaruh yang lebih besar jika dibandingkan pada kabel yang panjang (S5).
- Kombinasi dari efek lengkungan kabel dan efek kekakuan lentur memberikan pengaruh terhadap estimasi gaya tarik kabel sebesar 1,77% - 6,00% dari gaya tarik saat *final lift-off*.
- Besarnya gaya tarik (*tension*) kabel dapat dilakukan estimasi berdasarkan pengujian dinamik dan pendekatan formula empiris yang ada dengan hasil yang akurat. Teori *Taut String* dan *Beam String* memberikan estimasi gaya tarik kabel dengan kesalahan di bawah 7,0%, sedangkan teori *Wei-Xin* dan *Zui et al.* memberikan hasil akurasi paling baik dengan kesalahan di bawah 3,0%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Binamarga, *Manual Konstruksi dan Bangunan No.019/BM/2011 tentang Pemeliharaan Jembatan Cable Stayed*, Jakarta, 2011.

- [2] Binamarga, *Laporan Pelaksanaan Uji Beban Jembatan Pedamaran I, Kab. Rokan Hilir, Prov. Riau*, Jakarta, 2013.
- [3] Byeong Hwa Kim, Taehyo Park, Hyungyang Shin, dan Tae-Yang Yoon, “A Comparative Study of Tension Estimation Method For Cable Supported Bridges”, *Steel Structures* 7 (2007), pp.77-84, 2007.
- [4] D.C. Nguyen, H.V. Tran, H.Q. Hung, T.V. Mot, “Development and Application of Structural Health Monitoring using Low-Cost MEMS and Arduino Nano Microcontroller Board”. 9-2018. 154-158, 2018.
- [5] H. Zui, T. Shinke dan Y.H. Namita, “Practical Formulas for Estimation of Cable Tension by Vibration Method”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 122(6), pp. 651-656, 1996.
- [6] I. Hidayat, M. Suangga, dan G. Siagian, “Validation Value of Cable Force Using the Accelerometer”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 195. 012022.10.1088/17551315/195/1/012022, 2018.
- [7] PT. VSL Indonesia, *Data Final Lift-Off Jembatan Pedamaran I*, Rokan Hilir, 2013.
- [8] PT. Waskita Karya (Persero), *Shop-Drawing Pembangunan Jembatan Pedamaran I*, Rokan Hilir, 2013.
- [9] S.N. Debora, R. Raja, S. Jannet, R. Reddy, J.J. Vasanth, dan U.A. Menon, “Assessment of Cable Tension Vibration Based Methodologies For Wireless Structural Health Monitoring”, *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, Vol.8, Issue 2, pp.575-582, 2018.
- [10] T. Shimada, K. Kimoto, dan S. Narui, “Study On Estimating Tension of Tied Hanger Rope of Suspension Bridge by Vibration Method”, *Proc. JSCE*, 404(I-11), pp.455-458, 1989.
- [11] Wei-Xin Ren, Gang Chen, dan Wei-Hua Hu, “Empirical Formulas to Estimate Cable Tension by Cable Fundamental Frequency”, *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 20, No. 3, pp.363-380, 2005.

Pemanfaatan GGBFS Sebagai Bahan Tambah Aduk Mortar

Nursyafri¹, Muhammad Taufan²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung
E-mail: nursyafri@pnb.ac.id

ABSTRAK

Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) adalah limbah hasil pembakaran pada tanur tinggi yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bangunan yang diperoleh dengan cara penggilingan kerak. Bahan ini memiliki sifat pozzolanik, sehingga dapat dimasukkan sebagai salah satu bahan aditif material pada campuran mortar. Penggunaan GGBFS sebagai bahan aduk mortar jarang sekali ditemui. Hal ini mengingat aduk mortar bukanlah digunakan sebagai bahan pembentuk bangunan struktural, melainkan hanya untuk bangunan non- struktural sehingga kurang mendapat perhatian yang lebih. Padahal penggunaan aduk mortar sangat menentukan kualitas bangunan secara keseluruhan, baik menyangkut estetika maupun kenyamanan. Penelitian ini memanfaatkan GGBFS sebagai bahan tambah untuk bahan tambah dari aduk mortar. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan GGBFS terhadap aduk mortar, baik dalam kondisi mortar segar maupun mortar keras. Sebagai bahan tambah, besarnya penambahan GGBFS ke dalam aduk mortar, dengan 3 macam variasi, yaitu 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat semen. Komposisi aduk mortar yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 Pc : 3 Psr berdasarkan perbandingan berat. Dari hasil pengujian terhadap sifat mortar, adanya penambahan GGBFS dapat meningkatkan plastisitas, waktu pengikatan awal dan kekuatan mortar. Besarnya penambahan GGBFS yang paling optimal adalah sebanyak 6%, karena sifat mortar segar dapat meningkatkan plastisitas sebesar 5% dan peningkatan waktu pengikatan sebesar 7,83 % juga meningkatkan kekuatan mortar setelah mengeras sebesar 6%.

Kata Kunci : GGBFS, bahan tambah, mortar

ABSTRACT

Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) is a combustion waste product of a high furnace that can be used as building material. This material has pozzolanic properties, so it can be included as one of the additive materials in mortar. As additive material, GGBFS rarely using. It cause the mortar is not a structural building material, but only for non-structural buildings. In fact mortar will effect to aesthetics and comfort of the building. The aim of the study is to determine the effect of GGBFS addition on mortar, both in fresh and hard mortar conditions. As addition material, the amount of GGBFS added to the mortar mixture namely 0%, 2%, 4%, and 6% of cement weight . Mortar mixture composition used in this study was 1Pc: 3 Fine Aggregate based on weight ratio. The most optimal addition of GGBFS is 6%, with an increase in plasticity of 5% and an increase in binding time of 7.83%, also increasing mortar strength by 6%.

Keywords: GGBFS, additive material, mortar

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi mortar dewasa ini sangatlah pesat. Hal ini ditandai dengan digunakannya mortar yang memiliki kualitas lebih baik, ditinjau dari kekuatan, kemudahan dikerjakan, keawetan maupun tingkat kekedapannya. Peningkatan mutu mortar ini terjadi karena adanya penggunaan bahan tambah mortar serta semakin banyak aduk mortar dijualnya dalam keadaan kering dalam bentuk kemasan yang penggunaannya cukup dilakukan dengan menambah air (*mortar instant*) yang memiliki mutu bahan yang lebih baik tentunya. Penggunaan bahan tambah untuk aduk mortar, yang sering digunakan pada umumnya adalah bahan tambah jenis pozzolanik yang bersifat aktif, yaitu bahan tambah yang mampu mengikat kapur bebas yang keluar dari hasil reaksi antara semen dengan air, dan membentuk senyawa yang keras sekaligus dapat mengurangi tingkat porositas jika memiliki ukuran butirannya lebih halus dari semen sehingga dapat mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat dan semen sehingga berfungsi sebagai bahan *filler*.

Tetapi penggunaan bahan tambah pozzolanik aktif sebagai bahan tambah untuk aduk mortar jarang sekali diterapkan di lapangan. Mungkin karena aduk mortar umumnya digunakan untuk pekerjaan arsitektur yang bersifat non struktural, sehingga antusiasme meningkatkan mutu mortar dengan memanfaatkan bahan pozzolanik tidak sepesat pada beton. Padahal bahan pozzolan ini dapat berfungsi sebagai bahan perekat, sehingga bila kita dapat mengurangi sebagian bahan semen.

Hasil penelitian terhadap bahan pozolanik jenis *GGBFS* sudah terbukti dapat meningkatkan kekuatan serta mengurangi kerusakan pada beton. Struktur beton yang mengandung hingga 50% *GGBFS* sebagai bahan ganti semen dianggap cocok untuk penggunaan struktur bangunan, jalan dan jembatan (Li, Li, & Yuan, 2012).

Adanya kandungan material aktif, seperti oksida silika pada *GGBFS* sangat berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan mortar (Putri, 2017). Atas dasar itu maka penulis tertarik untuk mengkaji pemanfaatan bahan pozolanik jenis *GGBFS* yang diproduksi PT. Semen Indonesia sebagai bahan tambah dalam pembuatan aduk mortar.

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui persentase penambahan *GGBFS* tersebut sebagai bahan tambah yang paling optimal dalam penggunaannya sebagai bahan campuran aduk mortar.

1.2. Perumusan Masalah

Aduk mortar yang baik, adalah jika aduk mortar tersebut memiliki plastisitas yang baik pada saat mortar segar dan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari kekuatan tekan rencana. Dengan kinerja aduk mortar yang baik, tentunya akan membuat aduk mortar dapat meningkatkan kekuatan pasangan batu, baik sebagai bahan perekat pasangan batu maupun sebagai bahan plester pasangan batu. Untuk meningkatkan kinerja aduk mortar, maka peneliti merencanakan penelitian menambahkan bahan *GGBFS* ke dalam aduk mortar.

Permasalahannya adalah seberapa besar pengaruh penggunaan *GGBFS* tersebut terhadap sifat mortar, baik dalam kondisi segar maupun setelah mengeras. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *GGBFS* tersebut, maka perlu dilakukan pengkajian dengan melakukan uji laboratorium terhadap mortar dengan berbagai variasi jumlah penambahan *GGBFS* sebagai bahan tambah aduk mortar.

1.3. Tujuan penelitian ini :

- a. Menentukan pengaruh penambahan variasi *GGBFS* terhadap sifat fisik maupun mekanis mortar dalam kondisi plastis maupun setelah mengeras, sekaligus untuk mengetahui optimasi besarnya penggunaan *GGBFS* di dalam aduk mortar.
- b. Meningkatkan pemanfaatan *GGBFS* sebagai bahan tambah untuk aduk mortar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Mortar

Mortar adalah bahan bangunan berbahan dasar semen yang digunakan sebagai "perekat" untuk membuat struktur bangunan. Yang membedakan mortar dengan semen, sebenarnya mortar adalah semen siap pakai yang komponen pembentuknya umumnya adalah semen itu sendiri, agregat halus (pasir), air, dan berbagai jenis bahan tambah yang sesuai (Saripoelman, 2009).

Berdasarkan bahan pembentuknya, jenis mortar dapat dibagi dalam beberapa jenis, antara lain:

1. Mortar semen Portland

Mortar semen Portland (sering dikenal dengan mortar semen) dibuat dengan mencampurkan antara semen Portland (*OPC*), pasir, dan air.

2. Mortar semen polimer

Mortar semen polimer (*PCM*) dibuat dengan menggantikan sebagian pengikat semen pada mortar semen konvensional oleh polimer sebagai bahan tambah. Bahan tambah polimer ini memiliki keunggulan permeabilitas rendah dan mengurangi kejadian pengeringan retak akibat penyusutan, terutama dirancang untuk memperbaiki struktur bangunan beton yang mengalami kerusakan.

3. Mortar kapur

Mortar kapur adalah jenis mortar yang bahan pencampurnya terdiri dari kapur, pasir, dan air.

4. Mortar posolan

Posolan adalah bahan tambah baik yang berasal dari alam atau limbah industri yang mengandung silika dan alumina yang jika dicampur dengan air akan bereaksi dengan kapur bebas. Mortar posolan adalah campuran antara mortar semen yang ditambahkan dengan posolan.

Berdasarkan kekuatannya, SNI 03-6882-2002 membagi jenis mortar ke dalam 4 jenis, yaitu :

- a. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan 17,2 MPa.
- b. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan 12,5 MPa.
- c. Mortar tipe N adalah mortar yang mempunyai kekuatan 5,2 MPa.
- d. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 MPa.

2.2 Bahan-Bahan Mortar

2.2.1 Semen

Di dalam mortar fungsi semen adalah sebagai bahan pengikat yang berbentuk butiran halus yang dengan penambahan air akan berubah menjadi pasta yang dapat mengikat agregat halus (pasir pasang) menjadi suatu masa yang keras dan padat. Jenis semen menurut SNI 15-2049-1994 ada 5 tipe, yang antara lain :tipe I, tipe II, tipe III, tipe IV dan tipe V. Kelima tipe semen ini digunakan untuk bahan campuran aduk beton struktural dan kondisi khusus. Di pasaran kelima tipe semen Portland sudah tidak diproduksi lagi (kecuali ada pemesanan).

Untuk bahan campuran aduk mortar yang memiliki kekuatan antara 2,4 – 17,2 MPa, maka sebaiknya menggunakan semen yang ada di pasaran, dengan mutu yang lebih rendah dari kelima jenis semen di atas, yaitu semen jenis *Portland composite cement* (PCC) atau *Pozzolan Portland Cement* (PPC) yaitu, semen hidrolik yang dibuat dengan menggiling terak, gipsum, dan bahan *pozzolan* baik yang bersifat aktif dan tidak aktif. Kedua jenis semen ini banyak beredar di pasaran sebagai semen pengganti kelima jenis semen. Semen PCC dan PPC memang baik digunakan untuk bahan aduk mortar karena bersifat ramah lingkungan dan jenis semen ini memiliki ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.

2.2.1. Agregat

Agregat adalah butiran yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar dan beton. Mengingat penggunaan agregat sangat dominan dalam aduk mortar, maka sifat dari agregat yang digunakan akan sangat berpengaruh sekali terhadap sifat-sifat mortar yang dihasilkan. Dalam teknologi mortar, agregat yang digunakan adalah agregat halus. Agregat halus ini memiliki ukuran butir kurang dari 4,75 mm

Syarat-syarat agregat yang digunakan untuk adukan pasangan (mortar) menurut SNI 03-6820-2002 sebagai berikut:

- a. Tidak mengandung zat organik.
- b. Kadar lumpur maksimum 5%.
- c. Gradasi agregat harus sesuai dengan tabel 1

Tabel 1. Gradasi agregat halus untuk mortar

Saringan (mm)	Lolos Kumulatif (%)	
	Pasir alam	Pasir olahan
4,75	100	100
2,36	90 - 100	95 - 100
1,18	70 - 100	70 - 100
0,60	40 - 75	40 - 75
0,30	10 - 35	20 - 40
0,15	2 - 15	10 - 25
0,075	0	0 - 10

2.2.3. Bahan Posolan

Bahan posolan adalah bahan tambah mortar yang digunakan untuk meningkatkan kinerja dari sifat mortar, baik pada saat mortar dalam keadaan plastis (segar) ataupun setelah mengeras. Bahan posolan ini ada 2 jenis yaitu ada yang aktif dan tidak aktif. Bahan posolan yang aktif dapat bereaksi dengan kapur bebas hasil reaksi semen dengan air membentuk senyawa baru yang dapat mengeras sehingga akan meningkatkan kekuatan dari aduk yang dibuat setelah mengeras. Sedangkan bahan posolan yang tidak aktif, umumnya berfungsi sebagai bahan untuk meningkatkan kecacakan dan bahan pengisi saja. Akan tetapi karena berat jenis bahan posolan yang tidak aktif, maka penggunaan bahan posolan jenis ini dapat mengurangi mutu mortar yang dihasilkan.

Berdasarkan Tjokrodinuljo, 2002 *pozzolan* adalah bahan yang terbentuk secara alami maupun hasil rekayasa yang mengandung senyawa silika dan alumina. Bahan *pozzolan* itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan dapat bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu biasa membentuk senyawa yang memiliki sifat-sifat seperti semen (kalsium silikat dan kalsium alumina hidrat).

Jenis bahan-bahan posolan yang terbentuk secara alami antara lain: tufa, abu vulkanis, tanah diatomae, sedangkan yang termasuk *pozzolan* buatan adalah : *pozzolan* hasil pembakaran tanah liat, hasil pembakaran batu bara berupa *fly ash*, abu dari bahan organik (seperti sekam padi, serabut kelapa sawit, serat tebu dan lain-lain) yang dibakar pada suhu diatas 600°C, *silica fume*, yaitu bahan posolan yang halus dengan diameter berkisar antara 0,1-1,0 *micron* yang mengandung komposisi silika lebih banyak dari hasil sampingan tanur tinggi atau sisa produksi silikon atau *alloy* besi *silicon* (ASTM.C.1240,1995: 637-642) serta *Ground Blast Furnace Slag* (GBFS) adalah kerak (*slag*) merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi adalah produk non-metal yang

merupakan material berbentuk butiran/granular. Kerak Unsur GBFS sebagian besar terdiri dari kapur, silika dan alumina yang terkandung di dalam besi saat dimasukkan ke dalam tanur. GBFS bila digiling halus akan memiliki sifat sangat reaktif yang dapat dipakai sebagai bahan pengganti semen GBFS yang sudah digiling halus di sebut *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS).

2.3 Pengaruh Penggunaan Bahan Posolan terhadap Sifat Mortar

Pemanfaatan GGBFS akan menguntungkan bagi aspek lingkungan karena bahan ini termasuk bahan limbah. Bahan ini dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen sehingga dapat mengurangi biaya konstruksi karena berkurangnya penggunaan semen dan pada aspek kekuatan struktur bahwa beton dengan GGBFS lebih baik dari pada beton tanpa GGBFS (Siddique & Kaur, 2011).

Reaksi antara silika dengan kalsium hidroksida (kandungan kapur bebas dalam semen Portland) berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Kuat tekan dan kuat aus optimal beton dengan penambahan tumbukan batu bata sebagai *pozzolan* akan dicapai setelah beton berumur minimal 90 hari (Tjokrodimuljo, 1996)

Menurut Ermiyati (Jurnal Sains dan Teknologi 6(2), September 2007: 31-34) Penggunaan bahan *pozzolan* yang terbuat dari abu kelapa sawit terhadap sifat terhadap mortar, ternyata semakin besar persentase abu kelapa sawit dalam mortar, maka semakin besar pula nilai daya resap airnya sekaligus menurunkan berat jenis dan kuat tekannya. Begitu pula dengan Penggantian sebagian semen dengan abu kelapa sawit pada adukan mortar ternyata mengurangi kekedapan mortar, dan semakin besar persentasenya semakin membuat mortar tidak kedap air.

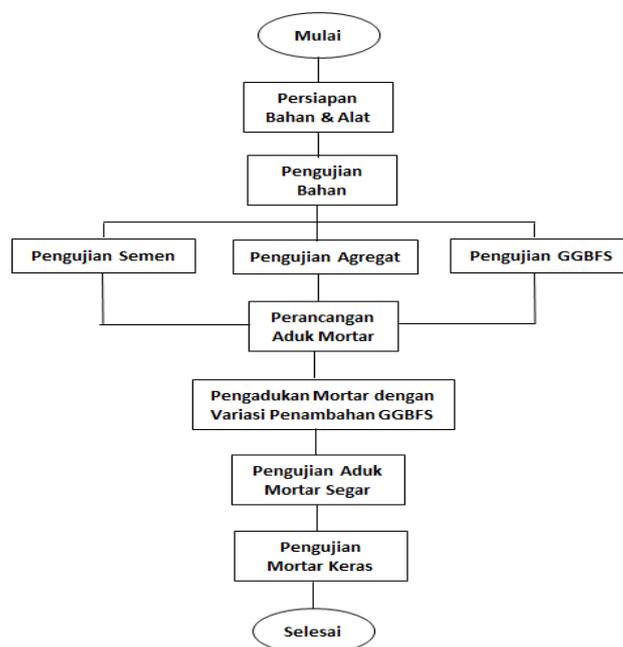
Menurut Md. Moinul Islam, Md. Saiful Islam, Bipul Chandra Mondal and Mrita Das (*Journal of Civil Engineering* .IEB, 37 .2.2009. 111-122) penggantian semen dengan abu hasil penggilingan terak besi (GGBFS) dengan perbandingan 70 :30 dan nilai faktor air semen 0,46 dapat meningkatkan kekuatan mortar dan ketahanan mortar terhadap sulfat.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Pendahuluan

Kinerja aduk mortar sangatlah ditentukan oleh bahan pembentuknya. Dengan adanya penambahan *GGBFS* ke dalam aduk mortar akan dapat terlihat pengaruhnya terhadap kinerja dari aduk mortar yaitu pada saat aduk masih dalam kondisi segar maupun setelah aduk tersebut mengeras. Penentuan besarnya perubahan sifat aduk mortar untuk setiap variasi penambahan *GGBFS* dapat diketahui dengan membandingkannya dengan aduk mortar tanpa penambahan *GGBFS*. Diharapkan dengan kajian ini akan dapat diketahui efektivitas penambahan *GGBFS* terhadap aduk mortar, ditinjau dari sifat fisik maupun mekanis aduk mortar yang dihasilkan.

Tahapan pelaksanaan kajian laboratorium terhadap sifat-sifat dari aduk mortar yang menggunakan bahan tambah *GGBFS* dengan variasi berbeda dapat terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Kajian Laboratorium

3.2. Teknik Pengambilan Data

Data yang diperlukan selain data yang sudah diperoleh dari hasil studi sebelumnya, juga data primer yang diperoleh dari hasil pengujian langsung terhadap beberapa benda uji uji. Adapun benda yang dibuat dan diuji adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian bahan-bahan aduk mortar, antara lain *GGBFS*, pasir dan semen, dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Bahan Mortar

No	Jenis Pengujian	Metoda Uji	Jumlah Sampel (buah)
Semen			
1	Berat Jenis	ASTM C.188-92	2
2	Bobot Isi	SNI 03-1973-1990	2
GGBFS			
1	Berat Jenis	ASTM C.188-92	2
2	Kehalusan	SNI 15-2049-2004	2
3	Keaktifan	NI 20 - 1965	2
4	Bobot Isi	SNI 03-1973-1990	2
Pasir			
1	Berat Jenis & Penyerapan	SNI 1969:2008	2
2	Bobot Isi	SNI 03-4804-1989	2
3	Gradasi	SNI 03-1968-1990	2
4	Kadar lolos no. 200	SNI ASTM C 117:2002	2
5	Kadar Zat Organik	SNI 03-2816-1992	2

- b. Pemeriksaan aduk mortar segar, yang meliputi konsistensi dan waktu pengikatan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Mortar Segar

No	Jenis Pengujian	Metoda Uji	Jumlah Sampel (buah)
Mortar Segar			
1	Konsistensi dengan Flow Table	ASTM C 305 - 82	4
2	Bobot Isi	ASTM C 188 - 92	4
3	Waktu Pengikatan dengan Hand Penetrometer	ASTM C 403 - 95	4

- c. Pemeriksaan aduk mortar setelah mengeras, yang meliputi berat isi dan kuat tekan pada umur tertentu

Tabel 4. Pengujian Mortar Keras

No	Jenis Pengujian	Metoda Uji	Jumlah Sampel (buah)
Mortar Keras			
1	Bobot Isi	ASTM C 188 - 92	24
2	Kuat Tekan	ASTM C 114 - 69	24

3.3. Teknik Analisis Data

Metode analisa terhadap sifat aduk mortar, dilakukan dengan cara membandingkan karakteristik aduk mortar yang menggunakan variasi penambahan *GGBFS* dengan aduk mortar tanpa menggunakan *GGBFS* sebagai pembanding. Untuk mengetahui besarnya pengaruh penambahan *GGBFS*, maka dalam penelitian ini dilakukan kajian terhadap aduk mortar keras untuk umur mortar keras tertentu, khususnya untuk mortar pada 28 hari yang telah mencapai hidrasi sempurna. Dengan variasi umur tersebut akan terlihat perubahan berat isi , penyerapan dan kuat tekan dari aduk mortar keras untuk setiap variasi penambahan *GGBFS*.

Hasil analisa dinyatakan dalam bentuk grafik hubungan antara sifat mortar dengan penggunaan variasi *GGBFS* pada umur yang berbeda, yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari, sehingga dapat ditentukan optimalisasi penambahan *GGBFS*.

4. DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Uji Pendahuluan

GGBFS yang digunakan untuk pengujian pendahuluan adalah berasal limbah kerak tanur tinggi yang sudah dalam butiran halus (bubuk) yang dan diproduksi PT. Krakatau Semen Indonesia (KSI). Pada uji pendahuluan ini diharapkan dapat diketahui tingkat keaktifan *GGBFS*. Metode uji yang digunakan adalah NI 20 – 1965, yaitu *GGBFS* ini dicampur menggunakan kapur padam dengan perbandingan 1Kp : 2 *GGBFS*. Indikator keaktifan dapat dilakukan dengan menggunakan alat vicat dengan beban

800 gram, jika dalam 3 hari, jarum vicat dia. 1 mm setelah dijatuhkan dalam waktu 30 detik dapat masuk ke pasta (campuran bahan GGBFS + kapur padam) di dalam cetakan konik sedalam ≤ 2 mm, maka bubuk GGBFS dinyatakan bersifat aktif.

Hasil uji keaktifan terhadap bubuk GGBFS, dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 2.

Tabel 5. Hasil Uji Keaktifan Bubuk GGBFS

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Uji	Hasil Uji	Spesifikasi NI 20-1965		Keterangan
					Min.	Maks.	
1	Keaktifan dengan Alat Vicat	mm	NI 20 - 1965	0.0	-	2	Aktif



Gambar 2. Uji Keaktifan dengan Alat Vicat

Hasil pengujian menunjukkan bahwa GGBFS bersifat aktif, sehingga dapat digolongkan sebagai bahan pengikat (*cementitious material*).

4.2 Hasil Uji Bahan-Bahan Mortar

Pengujian bahan pembentuk aduk mortar dilakukan hanya pada semen, pasir pasang dan bahan tambah GGBFS saja. Tujuan pengujian ini adalah menentukan kelayakan dari bahan-bahan tersebut, sekaligus digunakan sebagai data untuk perancangan campuran aduk mortar. Adapun terhadap bahan air pencampur tidak dilakukan, karena air yang digunakan adalah air bersih dari sumur dalam di Polban.

4.2.1 GGBFS

Dari hasil uji terhadap GGBFS, maka diperoleh hasil pengujian pada tabel 6.

Tabel 6. Uji GGBFS

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Uji	Hasil Uji	Spesifikasi		Keterangan
					Min	Maks	
1	Berat Jenis	-	SNI 15-2531-1991	2.854	-	-	
2	Bobot Isi		SNI 03-4804-1998				
	a. Padat			1.058	-	-	
	b. Gembur			0.993	-	-	
3	Kehalusan dengan Blaine		SNI 15-2049-2004	332	280	-	Memenuhi Syarat

4.2.2 Semen

Pengujian terhadap semen tipe PCC produksi Semen Tiga Roda, seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Uji Semen

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Uji	Hasil Uji	Spesifikasi		Keterangan
					Min	Maks	
1	Berat Jenis	-	SNI 15-2531-1991	2.868	-	-	
2	Bobot Isi		SNI 03-4804-1998				
	a. Padat			1.223	-	-	
	b. Gembur			1.072	-	-	

4.2.3 Pasir Pasang

Pasir yang digunakan adalah pasir pasang dari ex. Garut. Hasil uji terhadap pasir tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil Uji Pasir

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Uji	Hasil Uji Rata-Rata	Spesifikasi SNI 03-6820-2002		Keterangan
					Min.	Maks.	
Berat Jenis							
1	Berat Jenis: SSD	-	ASTM C.128-1997/ SNI 03-1970-1990	2.48	-	-	-
	Berat Jenis: Kering Oven	-		2.28	-	-	-
	Berat Jenis: Apparent	-		2.85	-	-	-
	Penyerapan Air	%		8.73	-	-	-
2	Kada Zat Organik	Visual Warna	ASTM C.40-92/ SNI 03-2816-1992	No. 3	-	No.3	
3	Kadar butir Lolos Ayakan 0,075 mm	%	ASTM C.117-1990/ SNI 03-4142-1996	12.96	-	5	Harus dicuci
Bobot Isi							
4	Bobot Isi Gembur	ton/m ³	ASTM C.29-1991/ SNI 03-4804-1989	1.40	-	-	-
	Bobot Isi Padat	ton/m ³		1.18	-	-	-
Gradasi							
5	Ukuran Ayakan (mm)		ASTM C.136-1996/ SNI 03-1968-1990	Lolos Kumulatif			Mendekati Gradasi Agregat Aduk Mortar dengan Menghilangkan Butir > 4,75 mm dan Mencuci Agregat
	10.00	%		100.00	100	100	
	5.00	%		100.00	100	100	
	2.36	%		84.29	90	100	
	1.18	%		61.58	60	90	
	0.60	%		36.58	35	70	
	0.30	%		21.41	10	30	
	0.15	%		9.53	0	5	
	< 0.15	%		3.26	0	3	
Finenes Modulus (fm)		-	2.87	-	-	-	
6	Kadar Air	%	ASTM C.566-1989/ SNI 03-1971-1991	0.94	-	-	-

Dari hasil pengujian terhadap Pasir pasang ex. Garut dapat disimpulkan bahwa, pasir tersebut mendekati syarat mutu agregat mortar, bila butiran yang tertahan di ayakan 4,75 mm dihilangkan dan agregat dicuci untuk menghilangkan kadar lolos no. 200 yang berlebih.

4.3 Pengujian Mortar

4.3.1 Mortar Segar

Untuk pengujian mortar segar menggunakan 3 metode pengujian diperoleh hasil pengujiannya sebagai berikut :

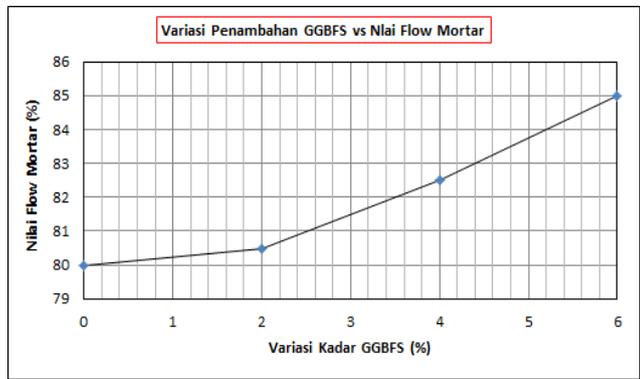
a. Konsistensi Mortar

Pengujian konsistensi mortar ditentukan berdasarkan besarnya kelelahan mortar yang diukur setelah dilakukan pengetukan *flow table* sebanyak 25 kali dalam waktu 15 detik. Menggunakan alat pengukur kelelahan (*Flow Caliper*) pada 4 tempat dan besarnya kelelahan mortar adalah penjumlahan keempat pengukuran tersebut.

Hasil pengukuran kelelahan dapat dilihat pada Tabel 9. dan Gambar 3.

Tabel 9. Nilai *Flow* Mortar

No	Penambahan <i>GGBFS</i> (%)	Nilai <i>Flow</i> Mortar (%)
1	0	80
2	2	80.5
3	4	82.5
4	6	85



Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi Penambahan *GGBFS* dengan Nilai *Flow* Mortar

Dari gambar 3., terlihat bahwa dengan penambahan variasi *GGBFS* ke dalam aduk mortar ternyata meningkatkan nilai *flow* aduk mortar, yang artinya kekentalan aduk mortar bertambah. Hal ini terlihat untuk penambahan *GGBFS* dari 2%, 4% dan 6%, menunjukkan aduk mortar semakin plastis, sehingga berdasarkan data di atas ternyata adanya penambahan *GGBFS* dapat berfungsi sebagai bahan penambah kelecakan (*plasticizer material*). Besar peningkatan nilai *flow* aduk mortar dengan penambahan *GGBFS* 2% sebesar 0,63%, penambahan *GGBFS* 4% sebesar 3,13% dan penambahan *GGBFS* 6% sebesar 6,25% terhadap aduk mortar tanpa penambahan *GGBFS*.

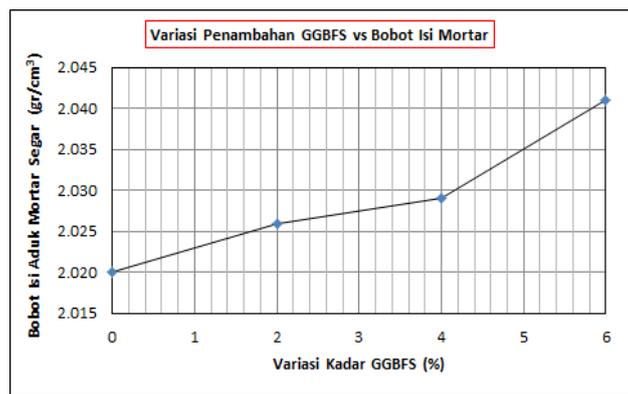
b. Bobot Isi Mortar

Besarnya berat isi mortar ditentukan berdasarkan perbandingan antara berat mortar terhadap volume mortar. Alat yang digunakan untuk menentukan volume mortar digunakan alat ukur volume yang terbuat dari logam (literan).

Hasil uji berat isi mortar dapat dilihat pada tabel 10. dan gambar 4.

Tabel 10. Nilai Berat Isi mortar Segar

No	Penambahan <i>GGBFS</i> (%)	Bobot Isi Mortar Segar (gr/cm^3)
1	0	2.020
2	2	2.026
3	4	2.029
4	6	2.041



Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi Kadar *GGBFS* dengan Bobot Isi Mortar Segar

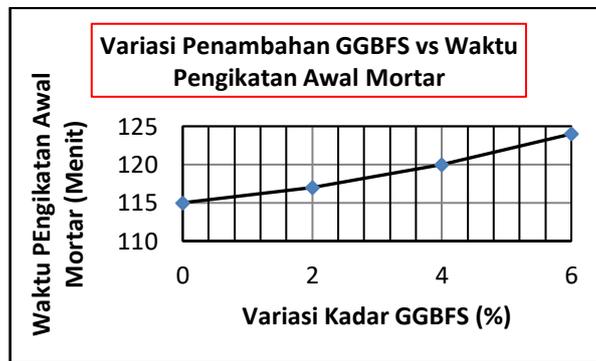
Berdasarkan grafik pada gambar 4, terlihat bahwa semakin besar penambahan *GGBFS* ditambahkan ke dalam aduk mortar akan meningkatkan bobot isi dari aduk mortar. Besarnya bobot isi aduk mortar dengan penambahan *GGBFS* 2% sebesar 0,30%, penambahan *GGBFS* 4% sebesar 0,45% dan penambahan *GGBFS* 6% sebesar 1,04% terhadap aduk mortar tanpa penambahan *GGBFS*.

c. Waktu Pengikatan

Penentuan waktu pengikatan awal mortar didasarkan pada waktu yang diperlukan oleh mortar mulai mengalami perubahan bentuk dari kondisi plastis menjadi mulai kaku. Alat yang digunakan adalah *Pocket Penetrometer*, yang ditusukkan ke dalam aduk mortar dalam cetakan kubus 10 x 10 x 10 cm sedalam 2,54 cm, jika tekanan telah mencapai 500 lbs, maka aduk mortar dinyatakan telah mencapai waktu pengikatan awal. Waktu pengikatan awal mortar dihitung mulai dari tercampurnya air dengan semen, hingga waktu tercapai penusukan dengan tekanan 500 lbs.

Tabel 11. Waktu Pengikatan Mortar

No	Penambahan <i>GGBFS</i> (%)	Waktu Pengikatan Awal Mortar (Menit)
1	0	115
2	2	117
3	4	120
4	6	124



Gambar 5. Grafik Hubungan Variasi Penambahan *GGBFS* dengan Waktu Pengikatan

Berdasarkan grafik hubungan waktu pengikatan awal mortar dan variasi penambahan *GGBFS*, terlihat semakin banyak penambahan *GGBFS*, maka semakin lama waktu pengikatan mortar yang dihasilkan. Besar peningkatan waktu pengikatan awal aduk mortar dengan penambahan *GGBFS* 2% sebesar 1,74%, penambahan *GGBFS* 4% sebesar 4,35% dan penambahan *GGBFS* 6% sebesar 7,83% terhadap aduk mortar tanpa penambahan *GGBFS*.

4.3.2 Mortar Keras

Pengujian mortar keras dilakukan hanya berdasarkan 2 jenis pengujian, yaitu uji bobot isi dan kekuatan tekan menggunakan benda uji kubus mortar berukuran 5 x 5 x 5 cm. Hasil pengujiannya sebagai berikut :

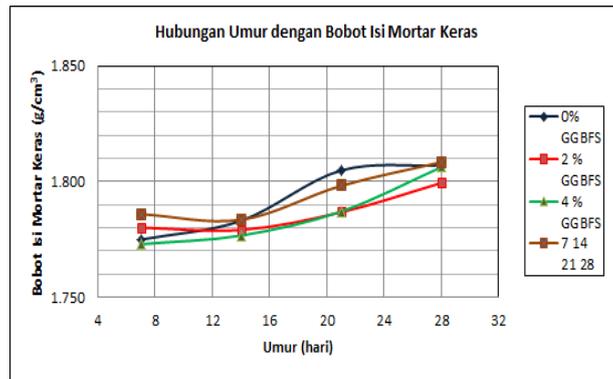
a. Uji Bobot Isi

Bobot isi keras adalah perbandingan antara berat dan volume benda uji kubus mortar 5 x 5 x 5cm setelah benda uji tersebut mengeras

Hasil uji berat isi mortar dapat dilihat pada tabel 12 dan gambar grafik 6.

Tabel 12. Berat Isi Mortar Keras

Umur (hari)	Bobot Isi Mortar (gr/cm ³)			
	% Penambahan <i>GGBFS</i>			
	0	2	4	6
7	1.775	1.780	1.773	1.786
14	1.783	1.779	1.777	1.784
21	1.805	1.787	1.787	1.798
28	1.807	1.799	1.806	1.808



Gambar 6. Hubungan Variasi penambahan *GGBFS* dengan Bobot Isi Mortar Keras

Dengan menambahkan *GGBFS* sebesar 4 dan 6% ke dalam aduk mortar, dapat meningkatkan bobot isi mortar keras walaupun relatif kecil, yaitu sebesar 0,11% dan 0,88%, kecuali pada penambahan *GGBFS* 2% terjadi penurunan bobot isi mortar sebesar 0,42%. Dari hasil pengujian terhadap bobot isi mortar keras relatif perubahannya kecil.

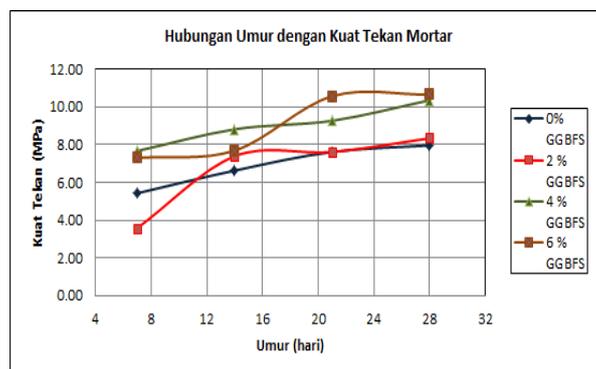
b. Kuat tekan

Salah satu sifat mekanis dari mortar adalah kuat tekan yang dihitung berdasarkan perbandingan beban maksimum dibagi luas bidang tekan atau kemampuan mortar untuk dapat memikul beban tekan persatuan luas. Jadi semakin tinggi nilai kuat tekan mortar, maka semakin besar beban yang dapat dipikul mortar atau kualitas semakin baik.

Benda uji yang digunakan untuk menentukan kuat tekan adalah kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel 13 dan gambar 7.

Tabel 13. Kuat Tekan Mortar

Umur (hari)	Kuat Tekan Mortar (Mpa)			
	% Penambahan <i>GGBFS</i>			
	0	2	4	6
7	5.43	3.58	7.67	7.30
14	6.63	7.39	8.82	7.69
21	7.62	7.61	9.27	10.58
28	7.97	8.35	10.36	10.66



Gambar 7. Hubungan Variasi Penambahan *GGBFS* dengan kuat tekan

Adanya penambahan variasi bubuk *GGBFS* ke dalam mortar ternyata meningkatkan kekuatan mortar pada 7 hari pertama. Hal ini terlihat dari gambar 7. ternyata seluruh mortar yang diberi tambahan *GGBFS* lebih besar dibanding mortar tanpa penambahan *GGBFS*. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa semakin besar penambahan *GGBFS* pada aduk mortar, maka semakin tinggi kekuatan tekan mortar yang dihasilkan terutama pada aduk mortar dengan umur antara 21 dan 28 hari. Penambahan variasi *GGBFS* pada aduk mortar, kemungkinan disebabkan butiran *GGBFS* yang halus sehingga dapat mengisi rongga di antara butiran agregat halus dan semen, serta sifat aktifnya *GGBFS* dapat membentuk ikatan tambahan bahan perekat akibat reaksi antara bahan posolan dengan kapur bebas yang dihasilkan dari reaksi semen dan air.

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Setelah penulis melakukan penelitian terhadap penambahan *GGBFS* sebagai bahan tambah aduk mortar, maka penulis berkesimpulan sebagai berikut :

- a. *GGBFS* adalah bahan pozolani yang bersifat aktif, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengganti menggantikan semen *PPC* dalam batasan tertentu, karena memiliki kehalusan \leq dengan ukuran butir semen.
- b. Penambahan *GGBFS* sebesar 2% - 6% ke dalam aduk mortar akan dapat meningkatkan *workability* aduk mortar sebesar 0,3% s/d 1,04% terhadap aduk mortar tanpa penambahan *GGBFS*, karena bahan ini bersifat meningkatkan plastisitas.
- c. Sebaliknya penambahan *GGFS* antara 2% s/d 6% ke dalam aduk mortar akan meningkatkan waktu pengikatan awal sebesar 1,74% s/d 7,83%. Jadi semakin besar penambahan *GGBFS* akan memperlama waktu pengikatan awal aduk mortar.
- d. Adanya penambahan *GGBFS* dalam aduk mortar meningkatkan kekuatan mortar pada umur 28 hari yang relatif besar, yaitu pada penambahan *GGBFS* 4% diperoleh penambahan kekuatan sebesar 30,07% dan untuk penambahan *GGBFS* 6% diperoleh penambahan kekuatan sebesar 33,77%.

5.2 Saran

Beberapa saran yang penulis rasakan perlu dikemukakan selama melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian penambahan *GGBFS* ke dalam aduk mortar perlu ditindak lanjuti dengan penelitian dengan jumlah penambahan *GGBFS* yang lebih dari 6%, sehingga akan dapat diketahui optimasi kadar *GGBFS* yang dapat ditambahkan ke dalam aduk mortar.
- b. Perlu dilakukan kajian pemanfaatan *GGBFS* dengan beberapa jenis mortar dengan yang berbeda, sehingga dapat diperoleh efektivitas pemanfaatan *GGBFS*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdul Karim G, Susilowati E dan Pratiwi W., 2018. Pengaruh Ground Granulated Blast Furnace Slag Terhadap Sifat Fisika Semen Portland Jenis-I. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik* Vol.8, No.2, Desember 2018: 47-52
- [2]. ACI Committee 116, *Cement and Concrete Terminology (ACI 116R-90)*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1990
- [3]. ASTM C 1077-92, *Standard Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation*, ASTM, West Conshohocken, PA
- [4]. Barnett S. J., Soutsos M. N., Millard S. G. dan Bungey J. H. 2006, *Strength development of mortars containing ground granulated blast-furnace slag: Effect of curing temperature and determination of apparent activation energies*, *Cement and Concrete Research*, 36, p. 434-440.
- [5]. Hirde, S., dan Pavin, G., 2015. *Effect of Addition of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) on Mechanical Properties of Fibre Reinforced Concrete*. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(3), 1678-1682.
- [6]. Nursyafril. 2010, *Pengaruh Penggunaan Abu Batubata Terhadap Sifat Aduk Mortar*. *Jurnal Potensi*.
- [7]. Sulastari, 1996, *Kuat Tekan dan Kuat Tarik Mortar Semen Dengan Semen Portland Biasa dan Semen Portland Pozzolan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.
- [8]. Putri, L.K. 2017. *Pengaruh Material Aktif Pozzolan terhadap Pembentukan Kekuatan Mortar*. Gresik: Laporan Penelitian Praktek Kerja Lapangan PT. Semen Indonesia (Persero)
- [9]. Saripoelman. 2009. "Mengetahui Lebih Jauh Mengenai Mortar, Bagian 1".
- [10]. Badan Standardisasi Nasional, 2015. *SNI 15-2049-2015, Semen Portland - Bahan Bangunan*, Jakarta, BSN.
- [11]. *SNI 6385:2016, Spesifikasi Semen Slag untuk Digunakan dalam Beton dan Mortar*. Jakarta, BSN
- [12]. Siddique R., dan Bennacer R. 2012, *Use of iron and steel industry by-product (GGBS) in cement paste and mortar*, *Resources Conservation and Recycling*, 69, p. 29- 34.
- [13]. *SNI 6882:2014. Spesifikasi mortar untuk pekerjaan unit pasangan*. Badan Standardisasi Nasional
- [14]. Tjokrodimulyo. 1996. *Teknologi Beton*, Yogyakarta.
- [15]. Takehisa, D., N. Nakajima, Y. Uno, dan S. Date. 2017. *Effect of Setting Accelerator to the Initial Strength of Mortar with Blast Furnace Slag Cement*. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 264:12003.

Tingkat Kerentanan Tepian Sungai Kayan Terhadap Bencana Banjir

Hendra Julianto¹, Enny Harviyanti²

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Kaltara, Tanjung Selor
Email:hendra.julianto@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil Universitas Kaltara, Tanjung Selor
Email:emny.harviyanti@yahoo.com

Bencana Banjir bukan hal luar biasa bagi warga Bulungan, terutama yang menetap di sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) Kayan. Namun Banjir 9 Februari 2015 ini benar-benar mengubah paradigma masyarakat kota Tanjung Selor tentang banjir. Banjir ini diakibatkan oleh luapan Sungai Kayan ditambah kiriman banjir dari Sabah, Malaysia yang mencapai ketinggian satu hingga tujuh meter. Banjir ini mengakibatkan kerugian-kerugian bagi warga kabupaten Bulungan terutama di lima kecamatan, yakni Kecamatan Peso, Kecamatan Peso Hilir, Kecamatan Tanjung Palas Barat, Kecamatan Tanjung Palas dan Kecamatan Tanjung Selor. Banjir ini menjadi pengingat betapa kuat kerusakan yang bisa menimpa Kota Tanjung Selor dan ke depan ancaman ini akan menjadi fenomena yang biasa terjadi akibat dampak perubahan iklim serta perubahan tata guna lahan. Dampak dari fenomena di atas akan menjadi fokus dari identifikasi tingkat kerentanan ini. Tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat kerentanan tepian sungai kayan terhadap bencana banjir didasarkan pada kerentanan yang dikemukakan oleh IPCC 2014. Secara konseptual perhitungan kerentanan diadopsi dari kerangka berpikir IPCC 2014 di mana kerentanan (V) merupakan fungsi overlay dari sensitivitas (S) dan kapasitas adaptasi (AC) Sensitivitas (S) merupakan komponen yang akan terdampak oleh bencana banjir yaitu faktor fisik, sosial, ekonomi. Kapasitas adaptasi (AC) mengacu pada tindakan individu atau kolektif yang diambil untuk meminimalkan potensi dampak dari bahaya bencana banjir.. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan skoring, pembobotan, *clustering* dan membuat peta dengan menggunakan ArGIS untuk memberikan gambaran tingkat kerentanan di tepian sungai Kayan terhadap bencana banjir. Berdasarkan hasil pengolahan data ditunjukkan bahwa tingkat kerentanan Tepian Sungai Kayan Terhadap Banjir dengan kerentanan tinggi terdapat pada 31 bangunan atau sekitar 35,90%, tingkat kerentanan sedang sebanyak 35 bangunan atau sekitar 41,67% dan tingkat kerentanan rendah sebanyak 18 bangunan atau sekitar 21,43%.

Kata Kunci: Kerentanan, Keterpaparan, Sensitivitas, Kapasitas Adaptasi, Banjir

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena perubahan iklim global yang terjadi belakangan ini memberikan pengaruh kepada masyarakat dan kawasan di berbagai belahan dunia termasuk di Indonesia. Perubahan iklim telah menyebabkan terjadinya peningkatan suhu global yang berdampak pada perubahan pola curah hujan, kenaikan muka air laut, serta meningkatnya kejadian cuaca ekstrem yang menyebabkan terjadinya bencana. Berdasarkan data statistik bencana di Indonesia 10 tahun terakhir (www.bnpb.go.id), banjir merupakan bencana alam yang paling sering kali terjadi dibandingkan dengan kejadian bencana alam lainnya seperti gempa, tsunami, kekeringan, longsor, dan lainnya.



Gambar 1. Kejadian Bencana di Indonesia Tahun 2010-2019 (Sumber : www.bnpb.go.id)

Terjadinya akumulasi curah hujan tinggi dalam waktu yang singkat yang berdampak pada meningkatnya intensitas banjir yang terjadi. Kondisi ini diperparah dengan adanya beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya banjir di antaranya perubahan tata guna lahan, sistem drainase yang tidak memadai, kurangnya kesadaran masyarakat di sepanjang alur sungai, penggundulan hutan di daerah hulu serta beberapa faktor lainnya. Banjir dengan skala yang luas, mendorong peluapan air di dataran rendah, sehingga banjir terjadi di sepanjang sistem sungai dan anak-anak sungainya. Seperti halnya banjir yang terjadi di sekitar aliran

Sungai Kayan di Provinsi termuda di Indonesia, Provinsi Kalimantan Utara, tepatnya di Kota Tanjung Selor, Kabupaten Bulungan.

Kerentanan masyarakat terhadap dampak perubahan iklim dibentuk oleh dampak fisik dari bahaya iklim bersamaan dengan keterbatasan akses masyarakat untuk mendapatkan sumber daya untuk melepaskan atau memulihkan diri dari bencana dampak. Penilaian kerentanan dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan daya tahan kapasitas masyarakat dan untuk mengurangi risiko bahaya. Secara konseptual perhitungan kerentanan diadopsi dari kerangka berpikir IPCC (2014) di mana kerentanan (V) merupakan fungsi Sensitivitas (S) dan Kapasitas Adaptasi (AC). Sensitivitas merupakan komponen yang akan terdampak oleh bencana banjir yaitu faktor sosial, ekonomi, dan infrastruktur di tepian sungai Kayan. Kapasitas adaptasi mengacu pada kemampuan masyarakat untuk menghindari banjir seperti menaikkan lantai bangunan, membersihkan saluran air serta memiliki pemahaman terhadap bahaya banjir. Bencana banjir sebagai bagian dari keterpaparan (E) digambarkan sebagai bahaya banjir 9 Februari 2015 serta ditambahkan dengan ancaman pasang tertinggi yang mungkin terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang akan diteliti yaitu bagaimana tingkat kerentanan terhadap bencana banjir di tepian sungai Kayan Tanjung Selor?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kerentanan tepian sungai Kayan dengan melakukan penilaian terhadap fungsi dari sensitivitas (S) dan kapasitas adaptasi (AC)

1.4 Batasan Masalah

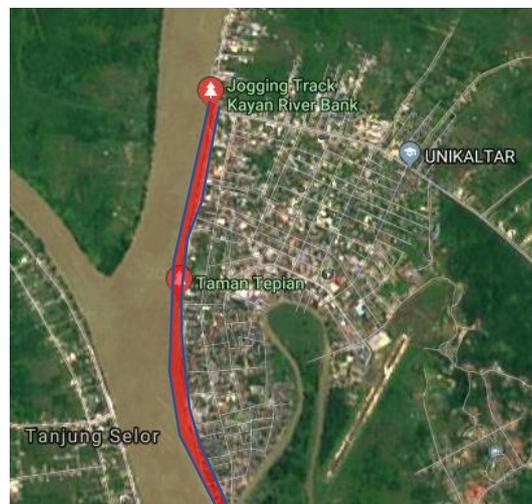
Batasan masalah pada penelitian “Tingkat Kerentanan Tepian Sungai Kayan Tanjung Selor Terhadap Bencana Banjir” yaitu:

1. Hanya mengidentifikasi kerentanan bangunan di sisi jalan tepian sungai Kayan di Tanjung Selor, dari simpang Sengkawit sampai dengan Kampung Arab
2. Perhitungan kerentanan (*Vulnerability*) diadopsi dari kerangka berpikir IPCC (2014) dinyatakan sebagai fungsi dari Sensitivitas (*Sensitivity*) dan Kapasitas Adaptasi (*Adaptive Capacity*)
3. Tidak melakukan kajian bahaya banjir akan tetapi hanya mempelajari peta kerawanan banjir serta melakukan pengamatan di lapangan

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di sepanjang tepian sungai Kayan yang berada di Kota Tanjung Selor, Kelurahan Tanjung Selor Hilir, Kecamatan Tanjung Selor, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara dimulai dari simpang Sengkawit (Tugu Damai) sampai dengan Kampung Arab dengan panjang mencapai \pm 8 km.



Gambar 2. Lokasi Penelitian di Tepian Sungai Kayan Tanjung Selor (Sumber : google earth)

2.2 Metodologi Penelitian

Pendekatan dan metodologi yang akan digunakan pada dasarnya mencakup 4 (empat) tahapan pengerjaan yang meliputi :

1. Tahap Persiapan

Kegiatan persiapan ini terbagi 3 (tiga) bagian yaitu : (i) persiapan dasar, (ii) *desk* studi, dan (iii) survei pendahuluan.

2. Tahap Identifikasi

Tahapan ini merupakan rangkaian kegiatan survei lapangan , kompilasi dan analisis yang akan dilaksanakan sebagai tindak lanjut dari tahapan sebelumnya. Tahap ini diawali dengan kegiatan pengumpulan data dan survei yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran nyata di daerah tepian sungai Kayan. Pengumpulan data yang akan dilakukan dalam survei ini dibagi atas dua kelompok besar, yaitu pengumpulan data sekunder terkait dengan peta dan dokumen terkait serta pengumpulan data primer dengan menggunakan kuesioner/wawancara serta melakukan dokumentasi. Kuesioner terdiri dari 3 bagian pertanyaan inti yaitu pertanyaan terkait dengan keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptasi. Pertanyaan keterpaparan terkait dengan ancaman bencana banjir. Pertanyaan sensitivitas terkait komponen yang akan terdampak oleh bencana banjir yaitu faktor fisik, sosial, ekonomi. Pertanyaan kapasitas adaptasi mengacu pada tindakan individu atau kolektif yang diambil untuk meminimalkan potensi dampak dari bahaya bencana banjir. Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus Slovin, ditetapkan jumlah sampel sebanyak 84 responden/bangunan dari 152 populasi/bangunan. Data primer yang dibutuhkan adalah data terkait dengan kerentanan di tepian Sungai Kayan terhadap banjir yang meliputi komponen keterpaparan (E), sensitivitas (S) dan kapasitas adaptasi (AC).

3. Tahap Analisis

Rumus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Indeks Keterpaparan

$$(EI) = (E1+E2+E3)/3$$

$$\text{Indeks Sensitivitas (SI)}=(S1/5+S2/4+S3/3)$$

Indeks Kapasitas Adaptasi

$$(ACI)= (AC1+AC2)/2$$

Indeks Kerentanan

$$VI=(EI+SI)-ACI$$

Variabel kerentanan terpilih, akan diukur dengan memberikan skor. Setelah dilakukan skoring, maka tiap-tiap variabel kerentanan akan diberi bobot. Hasil perkalian antara skor dan bobot pada variabel tingkat sensitivitas merupakan Indeks Sensitivitas (SI), sedangkan hasil perkalian antara skor dan bobot pada variabel kapasitas adaptasi merupakan Indeks Kapasitas Adaptasi (ACI). Setelah didapat penilaian pada sensitivitas (S), dan Kapasitas Adaptasi (AC), selanjutnya dilakukan *clustering* dengan metode perhitungan *K-mean* dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Kelompokkan data menjadi 3 *dataset* atau 3 kelas.
- b. Setelah menentukan kelas atau *dataset*, maka perlu menentukan jumlah *cluster* yang akan dibentuk
- c. Tetapkan C pusat *cluster* awal secara *random*
- d. Alokasikan semua data/obyek ke dalam *cluster* terdekat. Adapun hasil dari jarak ke *cluster* diperoleh dari perhitungan dengan rumus :

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

- e. Hitung semua data dengan cara dikalikan dengan pusat *cluster*
- f. Lakukan terus perhitungan hingga dua iterasi memiliki hasil yang sama.

Analisis ini merupakan salah satu alat analisis yang digunakan untuk mengetahui tingkat sensitivitas (S) dan tingkat kapasitas adaptasi (AC) untuk mencapai tujuan penelitian yakni mengetahui tingkat kerentanan yang dibagi menjadi 3 kategori, yaitu: kerentanan rendah (*low*), kerentanan sedang (*moderate*), kerentanan tinggi (*high*). Tahap selanjutnya yaitu membuat pemodelan spasial baru untuk *view* atau representasi peta digital tingkat sensitivitas, tingkat kapasitas dan tingkat kerentanan tepian sungai Kayan terhadap banjir

4. Tahap Finalisasi

Target yang ingin dicapai pada tahap finalisasi yaitu tersusunnya produk berupa laporan tingkat kerentanan tepian sungai Kayan terhadap bencana banjir dan tersedianya media informasi produk berupa peta

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Banjir di Tepian Sungai Kayan

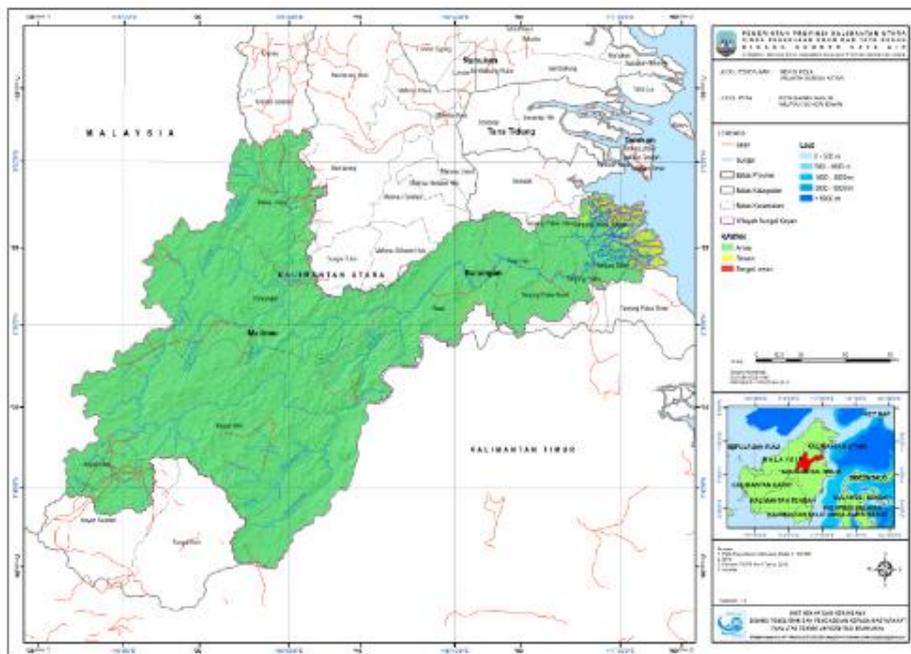
Terjadinya banjir di Tanjung Selor khususnya di tepian sungai kayan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kegiatan perubahan tata guna lahan yang ada, curah hujan yang tinggi, drainase yang tidak memadai, serta meningkatnya pasang air laut. Berikut adalah data kejadian banjir Kalimantan Utara.

Tabel. 1. Waktu Kejadian Terjadinya Banjir

Waktu	Lokasi	Kedalaman	Lama Genangan
12-02-2015	Kec Long Peso	60 Cm	4 Hari
05-04-2017	Tanjung Selor	10-60 Cm	2 Hari
10-05-2017	Kec Tanjung Palas	1-2 M	1 Hari

Sumber :Tribun news. com dalam Soko Negro, 2018

Berdasarkan dari waktu kejadian terjadinya banjir, maka daerah yang memiliki potensi banjir yang cukup besar adalah di daerah hilir sungai tepatnya di daerah Tanjung Selor. Berikut adalah peta rawan banjir wilayah sungai Kayan Tanjung Selor yang diperoleh dari Bidang Sumber Daya Air Dinas PU dan Tata Ruang Pemerintah Provinsi Kalimantan Utara.



Gambar 3 Peta Rawan Banjir di Tepian Sungai Kayan (Sumber : Bidang SDA PUTR Prov.Kaltara)

Banjir yang terjadi pada 9 Februari 2015 ini merupakan banjir terburuk yang pernah terjadi. Banjir ini diakibatkan oleh luapan Sungai Kayan ditambah kiriman banjir dari Sabah, Malaysia. Ketinggian air rata-rata mencapai satu meter dan bahkan ada satu kawasan yang bahkan mencapai tujuh meter. Banjir di tepian sungai kayan digambarkan pada sebaran banjir sebagai berikut:



Gambar 4 Peta Sebaran Banjir di Tepian Sungai Kayan (1-3 m)

3.2 Kajian Kerentanan

Pengolahan data kerentanan dimulai dengan melakukan skoring pada masing-masing jawaban kuesioner kemudian dilakukan pembobotan. Tahap berikutnya di lakukan perhitungan untuk mencari nilai kerentanan di tepian sungai Kayan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Rekapitulasi Penilaian Kerentanan

Kerentanan (V)							
No.	SXB	No.	SXB	No.	SXB	No.	SXB
1	14.92	22	15.87	43	11.75	64	20.85
2	11.30	23	12.63	44	21.45	65	20.70
3	13.70	24	15.80	45	20.60	66	16.12
4	13.70	25	18.20	46	22.67	67	14.45
5	12.50	26	16.20	47	24.25	68	16.78
6	18.82	27	14.42	48	19.72	69	17.03
7	15.75	28	17.55	49	20.17	70	16.78
8	15.17	29	16.25	50	22.20	71	16.78
9	19.50	30	15.08	51	20.93	72	21.87
10	14.42	31	14.70	52	20.08	73	21.32
11	17.00	32	10.97	53	20.07	74	20.78
12	15.00	33	10.30	54	19.38	75	18.67
13	20.30	34	19.17	55	18.13	76	21.72
14	20.37	35	16.00	56	15.40	77	22.92
15	22.50	36	9.10	57	14.45	78	16.78
16	18.75	37	16.00	58	13.25	79	17.92
17	14.55	38	11.75	59	18.23	80	20.53
18	10.55	39	11.50	60	20.17	81	18.78
19	11.75	40	11.75	61	16.98	82	18.45
20	12.30	41	10.30	62	21.50	83	16.78
21	16.75	42	10.55	63	20.65	84	18.20

Selanjutnya dilakukan pengelompokan dengan menggunakan *K-Mean* ke dalam 3 kelompok untuk masing-masing tingkat sensitivitas (S), tingkat kapasitas adaptasi (AC) dan tingkat kerentanan (V) di tepian sungai Kayan. Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil Rekapitulasi *Cluster* dengan Metode *K-Mean*

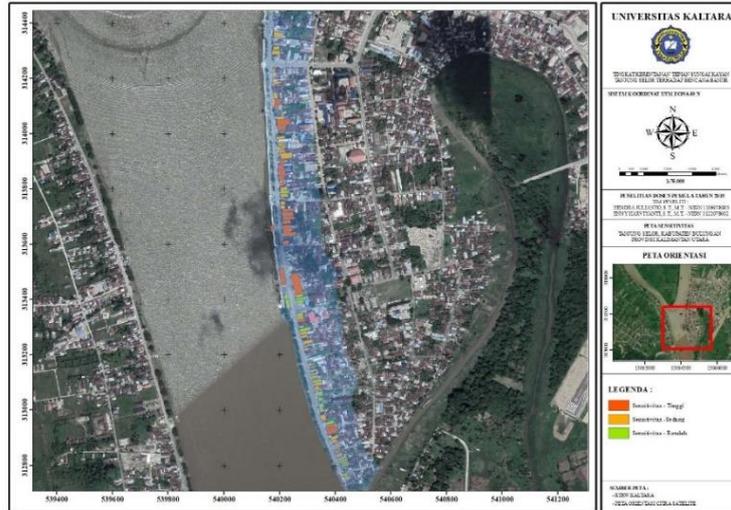
R	S	AC	V												
1	SEDANG	SEDANG	SEDANG	22	SEDANG	SEDANG	SEDANG	43	TINGGI	SEDANG	RENDAH	64	TINGGI	SEDANG	TINGGI
2	RENDAH	SEDANG	RENDAH	23	SEDANG	SEDANG	RENDAH	44	TINGGI	SEDANG	TINGGI	65	SEDANG	SEDANG	TINGGI
3	RENDAH	SEDANG	RENDAH	24	RENDAH	SEDANG	SEDANG	45	TINGGI	SEDANG	TINGGI	66	SEDANG	SEDANG	SEDANG
4	RENDAH	SEDANG	RENDAH	25	SEDANG	SEDANG	SEDANG	46	TINGGI	SEDANG	TINGGI	67	SEDANG	SEDANG	SEDANG
5	RENDAH	SEDANG	RENDAH	26	SEDANG	TINGGI	SEDANG	47	TINGGI	SEDANG	TINGGI	68	SEDANG	SEDANG	SEDANG
6	SEDANG	SEDANG	TINGGI	27	SEDANG	SEDANG	SEDANG	48	TINGGI	SEDANG	TINGGI	69	SEDANG	SEDANG	SEDANG
7	SEDANG	SEDANG	SEDANG	28	SEDANG	SEDANG	SEDANG	49	TINGGI	SEDANG	TINGGI	70	SEDANG	SEDANG	SEDANG
8	SEDANG	SEDANG	SEDANG	29	SEDANG	TINGGI	SEDANG	50	TINGGI	SEDANG	TINGGI	71	SEDANG	SEDANG	SEDANG
9	TINGGI	SEDANG	TINGGI	30	SEDANG	SEDANG	SEDANG	51	TINGGI	SEDANG	TINGGI	72	TINGGI	SEDANG	TINGGI
10	SEDANG	SEDANG	SEDANG	31	SEDANG	SEDANG	SEDANG	52	TINGGI	SEDANG	TINGGI	73	TINGGI	SEDANG	TINGGI
11	SEDANG	SEDANG	SEDANG	32	SEDANG	SEDANG	RENDAH	53	TINGGI	SEDANG	TINGGI	74	TINGGI	SEDANG	TINGGI
12	SEDANG	SEDANG	SEDANG	33	RENDAH	SEDANG	RENDAH	54	SEDANG	SEDANG	TINGGI	75	SEDANG	SEDANG	TINGGI
13	TINGGI	SEDANG	TINGGI	34	RENDAH	SEDANG	TINGGI	55	SEDANG	SEDANG	SEDANG	76	TINGGI	SEDANG	TINGGI
14	TINGGI	SEDANG	TINGGI	35	TINGGI	TINGGI	SEDANG	56	SEDANG	SEDANG	SEDANG	77	TINGGI	SEDANG	TINGGI
15	TINGGI	SEDANG	TINGGI	36	SEDANG	SEDANG	RENDAH	57	RENDAH	SEDANG	SEDANG	78	SEDANG	SEDANG	SEDANG
16	SEDANG	SEDANG	TINGGI	37	RENDAH	TINGGI	SEDANG	58	SEDANG	SEDANG	RENDAH	79	SEDANG	SEDANG	SEDANG
17	RENDAH	RENDAH	SEDANG	38	RENDAH	SEDANG	RENDAH	59	TINGGI	SEDANG	SEDANG	80	TINGGI	SEDANG	TINGGI
18	RENDAH	SEDANG	RENDAH	39	RENDAH	SEDANG	RENDAH	60	SEDANG	SEDANG	TINGGI	81	SEDANG	SEDANG	TINGGI
19	RENDAH	SEDANG	RENDAH	40	RENDAH	SEDANG	RENDAH	61	TINGGI	SEDANG	SEDANG	82	SEDANG	SEDANG	SEDANG
20	RENDAH	SEDANG	RENDAH	41	RENDAH	SEDANG	RENDAH	62	TINGGI	SEDANG	TINGGI	83	SEDANG	SEDANG	SEDANG
21	RENDAH	SEDANG	SEDANG	42	RENDAH	SEDANG	RENDAH	63	TINGGI	SEDANG	TINGGI	84	SEDANG	SEDANG	SEDANG

Dari hasil *cluster* di atas kemudian diketahui bahwa tingkat sensitivitas rendah baik fisik, sosial dan ekonomi terdiri dari 19 bangunan atau 22,62%, sensitivitas sedang terdiri dari 38 bangunan atau sebesar 45,24% dan tingkat sensitivitas tinggi terdiri dari 27 bangunan atau 32,14%. Dengan demikian secara keseluruhan kondisi internal baik fisik, sosial, dan ekonomi di Tepian Sungai kayan mayoritas menunjukkan tingkat kerawanan yang sedang terhadap gangguan bencana banjir.

Tabel 4 Tingkat Sensitivitas (S) Tepian Sungai Kayan Terhadap Banjir

Klasifikasi	Jumlah Responden/Bangunan	Persentase (%)
Rendah	19	22.62
Sedang	38	45.24
Tinggi	27	32.14
Total	84	100

Sebagai gambaran tingkat sensitivitas bangunan di tepian sungai kayan terhadap banjir dapat dilihat pada gambar 5.



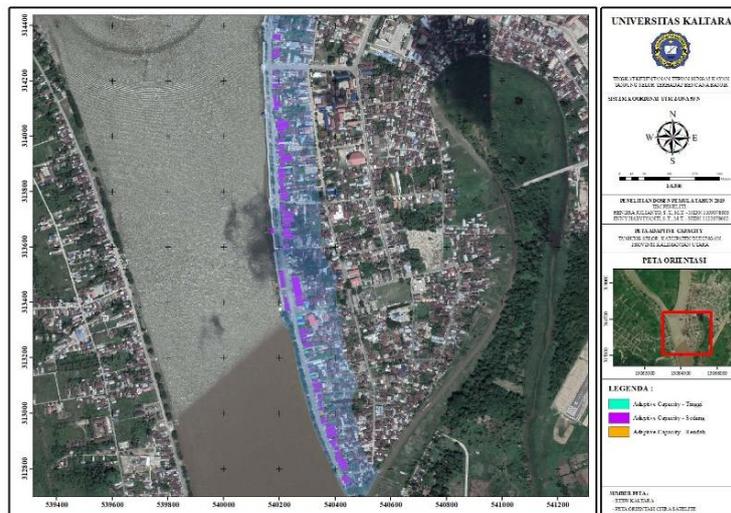
Gambar 5 Peta Tingkat Sensitivitas (S) Tepian Sungai Kayan Terhadap Banjir

Hasil dari pengelompokan data menggunakan *K-mean* menunjukkan bahwa hampir sebagian besar bangunan di tepian sungai Kayan telah melakukan peningkatan kapasitas adaptasi terhadap adanya bahaya banjir. Jumlah bangunan dengan tingkat kapasitas adaptasi sedang sebanyak 81 bangunan atau sebesar 96.43% sedangkan tingkat kapasitas tinggi hanya 3 bangunan atau 3,57% serta tidak ditemukannya bangunan yang tidak meningkatkan kapasitas adaptasi terhadap adanya bahaya banjir.

Tabel 5. Tingkat Kapasitas Adaptasi (AC) Tepian Sungai Kayan Terhadap Banjir

Klasifikasi	Jumlah Responden/ Bangunan	Persentase (%)
Rendah	0	0.00
Sedang	81	96.43
Tinggi	3	3.57
Total	84	100.00

Gambaran peta kapasitas adaptasi (AC) dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Peta Tingkat Kapasitas Adaptasi (AC) Tepian Sungai Kayan Terhadap Banjir

Berdasarkan hasil pengolahan data terhadap fungsi sensitivitas (S) dan kapasitas adaptasi (AC) diperoleh hasil bahwa tingkat kerentanan (V) tepian sungai Kayan terhadap banjir dengan kerentanan tinggi terdapat pada 31 bangunan atau sekitar 35,90%, tingkat kerentanan sedang sebanyak 35 bangunan atau sekitar 41,67% dan tingkat kerentanan rendah sebanyak 18 bangunan atau sekitar 21,43%. Hal ini menunjukkan bahwa tepian sungai Kayan sebagian besar memiliki kerentanan yang sedang.

Tabel 6. Tingkat Kerentanan (V) Tepian Sungai Kayan Terhadap Bencana Banjir

Klasifikasi	Jumlah Responden/ Bangunan	Presentase (%)
Rendah	18	21.43
Sedang	35	41.67
Tinggi	31	36.90
Total	84	100.00

Secara lengkap gambaran kerentanan tepian sungai Kayan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Peta Tingkat Kerentanan (V) Tepian Sungai Kayan Terhadap Banjir

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tingkat sensitivitas rendah terdiri dari 19 bangunan atau 22,62%, sensitivitas sedang terdiri dari 38 bangunan atau sebesar 45,24% dan tingkat sensitivitas tinggi terdiri dari 27 bangunan atau 32,14%.
2. Tingkat kapasitas adaptasi sedang sebanyak 81 atau sebesar 96.43% sedangkan tingkat kapasitas tinggi hanya 3 bangunan atau 3,57%, serta tidak ditemukannya bangunan yang tidak meningkatkan kapasitas adaptasi terhadap adanya bencana banjir.
3. Tingkat kerentanan tepian sungai Kayan terhadap banjir dengan kerentanan tinggi terdapat pada 31 bangunan atau sekitar 35,90%, tingkat kerentanan sedang sebanyak 35 bangunan atau sekitar 41,67% dan tingkat kerentanan rendah sebanyak 18 bangunan atau sekitar 21,43%.

4.2 Saran

Penelitian ini sebaiknya ditindaklanjuti dengan penelitian berikutnya yaitu kajian bahaya (H) dan kajian risiko (R) untuk mendapatkan peta risiko bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Adhe Reza Rachmat dan Adjie Pamungkas, 2016: Faktor-Faktor Kerentanan yang Berpengaruh Terhadap Bencana Banjir di Kecamatan Manggala Kota Makassar Banjir yang terjadi di Kecamatan Manggala.
- [2]. Dian Adhietya Arif, Djati Mardiatna dan Sri Rum Giyarsih , 2014: Kerentanan Masyarakat Perkotaan terhadap Bahaya Banjir di Kelurahan Legok, Kecamatan Telanipura, Kota Jambi.
- [3]. Iwan Rudiarto, Dony Pamungkas, Hajar Annisa A dan Khalid Adam, 2017: Kerentanan Sosio-Ekonomi terhadap Paparan Bencana Banjir dan Rob di Pedesaan Pesisir Kabupaten Demak.

- [4]. Setiawan, Budhi, Puspita, Norma dan Setiojati, Ambiyar, 2010, Vulnerability Assessment of Urban Infrastructure
- [5]. <https://www.BNPB.co.id>
- [6]. <https://www.google.com/earth/>
- [7]. IPCC 2007, Climate Change 2007: The Project Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [8]. IPCC 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability

Peramalan Indeks Kekeringan Kelayang Menggunakan Metode *Sarima* dan *SPI*

Widya Rahmalina¹, Novreta²

¹ Program Studi Pendidikan Matematika, STKIP Adzka, Padang 25153

Email : widdyarahmalina@stkipadzka.ac.id

² Program Studi Budidaya Perairan Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau, Pekanbaru 28293

Email : novreta@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Kekeringan adalah salah satu bencana alam yang terjadi secara perlahan berlangsung lama hingga musim hujan tiba yang mempunyai dampak yang luas. Salah satu dampak kekeringan pada bidang pertanian pernah terjadi pada kabupaten Indragiri Hulu pada tahun 2015. Daerah irigasi (D.I) Kelayang merupakan daerah irigasi potensial yang mengairi wilayah pertanian di Kabupaten Indragiri Hulu. Untuk menanggulangi dampak kekeringan untuk masa yang akan datang perlu dilakukan peramalan indeks kekeringan. Indeks kekeringan sangat bergantung pada curah hujan. Untuk itu dilakukan peramalan curah hujan D.I Kelayang menggunakan metode *Seasonal Autogressive Integrated Moving Average* (SARIMA) karena diduga curah hujan merupakan data yang mengandung pola musiman. Kemudian dilakukan analisis indeks kekeringan menggunakan metode *Standardized Precipitation Index* (SPI). Hasil penelitian diperoleh model SARIMA (2,0,1)(0,1,1)¹² merupakan model yang layak digunakan untuk peramalan karena telah melewati uji ke-*random*-an dan kenormalan residual dengan *mean squared* dari residual yang terkecil yakni 4111,51. Setelah data peramalan curah hujan tahun 2019 didapatkan, dilakukan analisa indeks kekeringan dan diperoleh indeks SPI bernilai negatif yang tertinggi terjadi pada bulan Januari yaitu -0,252, sedangkan SPI bernilai positif tertinggi terjadi pada bulan Juli yaitu sebesar 0,169. Indeks kekeringan di D.I Kelayang bersifat "Normal". Peramalan indeks kekeringan ini dapat menjadi informasi tambahan bagi Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

Kata Kunci : *Time Series, SARIMA, Indeks Kekeringan, SPI, D.I Kelayang*

ABSTRACT

Drought is one of the natural disasters that occur slowly lasting for a long time until the rainy season arrives which has a broad impact. One of the effects of drought in agriculture has occurred in the Indragiri Hulu district in 2015. The Kelayang irrigation area (D.I) is a potential irrigation area that irrigates agricultural areas in Indragiri Hulu Regency. To overcome the impact of drought for the future it is necessary to forecast the drought index. The drought index is very dependent on rainfall. For this reason, D.I Kelayang rainfall forecasting is done using the Seasonal Autogressive Integrated Moving Average (SARIMA) method because it is assumed that rainfall is data that contains seasonal patterns. Then the drought index analysis is done using the Standardized Precipitation Index (SPI) method. The results obtained by the SARIMA (2,0,1) (0,1,1) 12 model are suitable models for forecasting because they have passed the standardized residual and normality test with the mean squared of the smallest residual that is 4111.51. After the 2019 rainfall forecasting data was obtained, an analysis of the drought index was obtained and the highest SPI index was negative in January which was -0.252, while the highest positive SPI value occurred in July which was 0.169. The drought index in Kelayang D.I is "Normal". This drought index forecasting can be additional information for the National Disaster Management Agency.

Keywords: *Time Series, SARIMA, Drought Index, SPI, Kelayang Irrigation Area*

1. PENDAHULUAN

Kekeringan adalah salah satu bencana alam yang terjadi secara perlahan berlangsung lama hingga musim hujan tiba yang mempunyai dampak yang luas. Kekeringan terjadi akibat adanya penyimpangan kondisi cuaca dari kondisi normal yang terjadi di suatu wilayah. Penyimpangan tersebut dapat berupa berkurangnya curah hujan dibandingkan dengan kondisi normal [1].

Di bidang pertanian, kekeringan selalu menjadi hal yang ditakuti oleh para petani karena mengganggu sistem produksi yang kemudian mengakibatkan kerugian. Berbeda dengan fenomena banjir, kekeringan cukup sulit diukur dan diprediksi karena terjadi sangat lambat. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kegagalan produksi pertanian di Indonesia adalah kejadian ekstrem El-Nino dan La-Nina. Secara umum peristiwa El-Nino Southern Oscillation (ENSO berulang antara 2 hingga 7 tahun. Di Indonesia, peristiwa ENSO diidentikkan dengan musim kering yang melebihi kondisi normalnya. Hal ini berbanding terbalik dengan peristiwa La-Niña yang justru menghasilkan curah hujan melebihi batasan normalnya [2].

Indragiri Hulu merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Riau yang pernah mengalami kekeringan lahan padi dan sawah seluas 273 hektare pada tahun 2015. Kemarau panjang menyebabkan warga kesulitan mendapatkan air bersih. Selain itu, banyak petani

yang mengalami gagal panen. Indragiri Hulu memiliki beberapa daerah irigasi, salah satunya yang terbesar adalah D.I Kelayang yang merupakan salah satu daerah yang menjadi wewenang atau tanggung jawab Balai Wilayah Sungai Sumatera III di Provinsi Riau.

D.I Kelayang merupakan daerah irigasi potensial yang terletak pada $0^{\circ}15'$ Lintang Utara, $1^{\circ}05'$ Lintang Selatan, $101^{\circ}10'$ Bujur Timur, dan $102^{\circ}48'$ Bujur Barat. D.I Kelayang yang berlokasi di Kecamatan Rakit Kulim Kabupaten Indragiri Hulu, dengan target layanan yang luas sebesar 3003 Ha, berada di 3 Desa, yaitu Desa Kelayang, Desa Lubuk Setarak, dan Desa Patonggan. Sebagai upaya pemerintah dalam meningkatkan produksi pertanian dan memperlancar distribusi air irigasi persawahan warga setempat, maka pada tahun 2017 dilakukan rehabilitasi jaringan irigasi D.I Kelayang Kabupaten Indragiri Hulu. Tetapi pembangunan sarana dan prasarana irigasi saja belum cukup. Untuk kewaspadaan dan antisipasi terhadap bencana kekeringan yang akan datang diperlukan sebuah peramalan. Tingkat kekeringan suatu wilayah dipengaruhi oleh faktor curah hujan. Data curah hujan merupakan data deret waktu (*time series*). Peramalan data deret waktu dilakukan dengan mengidentifikasi pola-pola data historis masa lalu yang diambil secara berkala untuk membuat perkiraan masa depan [3]. Salah satu metode peramalan yang sering digunakan adalah metode *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA).

SARIMA adalah salah satu metode deret waktu yang terdiri dari pola musiman atau *Seasonal*, *Autoregressive* (AR), *Moving Average* (MA) dan *Integrated*. Metode SARIMA ditulis dalam bentuk (p,d,q)(P,D,Q)S. Orde p merupakan komponen *Autoregressive* yang digunakan untuk memodelkan autokorelasi yang terdapat pada deret waktu dengan melakukan regresi pada variabel *lag* sebesar p, orde d menyatakan orde *differencing* untuk membuat data yang tidak stasioner menjadi stasioner, orde q merupakan orde *Moving Average* untuk memodelkan *lagged error* sebanyak q, orde P merupakan orde *Autoregressive* musiman, D orde *differencing* pada periode musiman, dan Q adalah orde *Moving Average* musiman [4]. Metode SARIMA dikenal dengan metode ARIMA musiman yang dipelajari secara mendalam oleh George Box dan Gwilym Jenkins dan terdiri dari empat tahap yaitu identifikasi, estimasi, pemeriksaan diagnostik, dan peramalan [5].

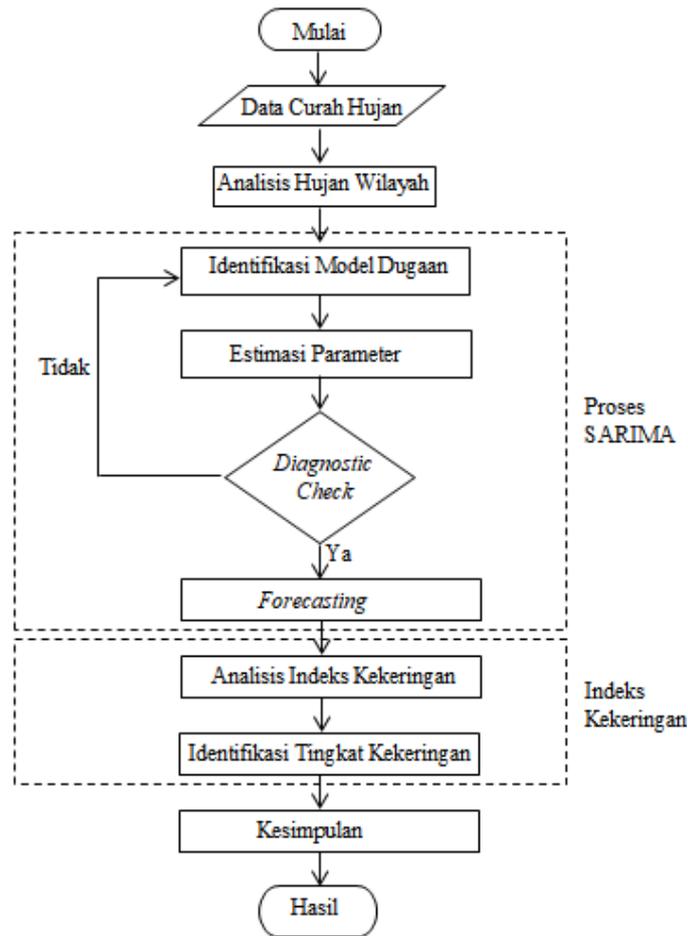
Informasi mengenai potensi kekeringan sangat diperlukan untuk pencegahan ataupun penanggulangan untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan [6]. Dalam penelitian indeks kekeringan dan indeks ketajaman kekeringan ini yang digunakan adalah metode *Standardized Precipitation Index* (SPI). Metode ini merupakan model untuk mengukur kekurangan/defisit curah hujan pada berbagai periode berdasarkan kondisi normalnya. Kekeringan yang digunakan pada metode SPI adalah kekeringan meteorologis yang merupakan besaran curah hujan yang terjadi di bawah kondisi normal pada suatu musim. Perhitungan tingkat kekeringan merupakan indikasi pertama terjadinya kondisi kekeringan [7].

Berdasarkan hasil penelitian Darfia, dengan menggunakan data curah hujan dari tahun 1998 sampai tahun 2017, analisis dengan metode SPI menunjukkan hasil bahwa sifat kekeringan di D.I Kelayang adalah "Normal". Waktu-waktu yang harus mendapat perhatian lebih adalah bulan Juni hingga September karena pada bulan-bulan ini kekeringan menunjukkan sifat yang lebih kering dibandingkan bulan-bulan lainnya [8].

Berdasarkan latar belakang di atas, dilakukan penelitian tentang meramalkan curah hujan menggunakan metode SARIMA dan menganalisis indeks kekeringan dari hasil ramalan menggunakan metode SPI kemudian ditentukan tingkat kekeringan di D.I Kelayang Kabupaten Indragiri Hulu Provinsi Riau.

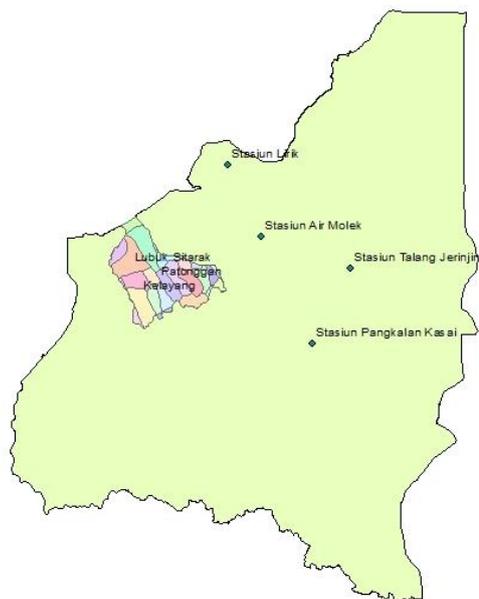
2. METODOLOGI

Dalam melakukan penelitian ini, peneliti berpedoman pada kerangka kerja penelitian yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Data yang digunakan dalam memprediksi indeks kekeringan D.I Kelayang adalah data curah hujan harian yang diperoleh dari 4 stasiun hujan yang berada di sekitar D.I Kelayang yaitu stasiun hujan Air Molek, Lirik, Pangkalan Kasai, dan Talang Jerinjing. Berikut adalah gambar peta lokasi penelitian :



Gambar 2. Kabupaten Indragiri Hulu dengan D.I Kelayang dan 4 stasiun hujan disekitarnya

Data dari keempat stasiun hujan tersebut merupakan data primer dari tahun 1998 sampai tahun 2018 yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sumatera III di Provinsi Riau.

Data yang sudah diperoleh diolah dalam tiga tahapan sesuai dengan Gambar 1 yaitu :

1. Analisis Hujan Wilayah

Data harian dari 4 stasiun hujan dijadikan data bulanan dengan cara dijumlahkan curah hujan hariannya. Setelah itu ditentukan hujan wilayahnya dengan metode aljabar yakni: mencari rata-rata curah hujan bulanan dari 4 stasiun hujan yang hasilnya disebut sebagai data hujan wilayah yang akan dijadikan *input* dalam peramalan.

2. Peramalan dengan SARIMA

Proses awal lakukan identifikasi model dengan memeriksa kestasioneran data dalam *mean* dan varians. Untuk memastikan bahwa data tersebut stasioner atau tidak terhadap *mean* dan varian dapat dilakukan dengan pemeriksaan. Pemeriksaan kestasioneran dalam varians dapat dilakukan dengan transformasi *Box-Cox* dan kestasioneran dalam *mean* dapat dilakukan dengan *Augmented Dickey Fuller* [9]. Apabila data tidak stasioner dalam varians dilakukan transformasi stabilitas varians, sedangkan data yang tidak stasioner dalam *mean* dilakukan proses *differencing*. Setelah data stasioner, dibuat model sementara dengan mengidentifikasi plot *Autocorrelation Function (ACF)* dan *Partial Autocorrelation Function (PACF)* untuk menentukan orde pada model. Langkah selanjutnya lakukan estimasi parameter-parameter AR, MA, musiman dan non-musiman dan uji signifikansi dari parameterinya. Asumsi lain yang harus dipenuhi adalah *error* yang ada harus mengikuti proses *white noise* yaitu *error* tidak berautokorelasi dan berdistribusi normal. Uji yang dapat digunakan dalam melihat autokorelasi adalah uji *Ljung-Box* dan Uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk melihat kenormalan [10]. Apabila terdapat beberapa model yang memenuhi semua asumsi, dilakukan seleksi untuk menentukan model terbaik berdasarkan residual (*error*) dengan memilih model yang memiliki nilai MS atau *Means Square* (cara untuk mengukur kesalahan, adalah rata-rata selisih kuadrat nilai yang diramalkan dan yang diamati) paling kecil [11].

SARIMA memiliki bentuk umum sebagai berikut [12]:

$$\phi_p(B) \Phi_p(B^s) (1-B)^d (1-B^s)^D X_t = \sigma_q(B) \Theta_q(B^s) e_t \tag{1}$$

dengan :

- e_t : *error*
- X_t : Nilai Pengamatan pada waktu ke-
t (t = 1, 2, ..., n)
- $(1 - B)^d$: Operasi matematis dari *differencing* non musiman
- $(1 - B^s)^D$: Operasi matematis dari *differencing* musiman
- $\phi_p(B)$: Operator *Autoregressive* =
 $(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$
- $\Phi_p(B^s)$: Operator *Autoregressive* Musiman =
 $(1 - \phi_1 B^s - \phi_2 B^{2s} - \dots - \phi_p B^{ps})$
- $\theta_q(B)$: Operator *Moving Average* =
 $(1 + \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$
- $\Theta_q(B^s)$: Operator *Moving Average* Musiman
 $= (1 - \theta_1 B^s - \theta_2 B^{2s} - \dots - \theta_q B^{qs})$

3. Indeks kekeringan dengan metode SPI

Standardized Precipitation Index (SPI) merupakan indeks kekeringan yang dikembangkan oleh McKee et al. Pada rentang waktu yang singkat, SPI berkaitan erat dengan kelembaban tanah, sementara pada rentang waktu yang lebih panjang, SPI dapat dihubungkan dengan air tanah dan waduk. SPI dapat diterapkan di berbagai daerah dengan iklim yang sangat berbeda. Indeks ini menguantifikasi curah hujan sebagai data awal [13].

$$(2) \quad = \frac{x_{ij} - x(rt)j}{\sigma_j}$$

dengan :

- Z_{ij} = nilai SPI tahun ke i bulan ke j
- x_{ij} = hujan bulanan tahun ke i bulan ke j
- $x_{(rt)j}$ = hujan rata-rata bulan j
- σ_j = simpangan baku bulan j

Tabel 1. Klasifikasi Skala Nilai SPI

Nilai SPI	Kategori
≥ 2.00	Ekstrim Basah
1.50 – 1.99	Sangat Basah
1.00 – 1.49	Basah
-0.99 – 0.99	Normal
-1.49 - -1.00	Kering
-1.99 - -1.5	Sangat Kering
≤ -2.00	Ekstrim Kering

Tahap awal dalam menghitung nilai SPI adalah menghitung selisih hujan sebenarnya dengan hujan rata-rata dengan menggunakan skala waktu tertentu, kemudian dibagi dengan simpangan baku (standar deviasi). Tahap kedua yaitu mentransformasikan data hujan bulanan tersebut yang bertujuan untuk menghilangkan faktor musim serta membentuk suatu deret yang sama dengan distribusi probabilitas yang sama. Proses transformasi ini yaitu mengubah data hujan bulanan menjadi bentuk fungsi peluang kumulatif melalui distribusi *gamma*. Perhitungan SPI melibatkan kecocokan fungsi kepadatan probabilitas *gamma* untuk distribusi frekuensi tertentu dari total curah hujan untuk setiap stasiun hujan. Parameter *alpha* dan *beta* dari fungsi kepadatan probabilitas *gamma* diperkirakan untuk setiap stasiun hujan, untuk setiap skala waktu yang ditinjau, dan untuk setiap bulan dalam setahun. Pada penelitian ini skala waktu yang digunakan adalah 1 bulan (SPI-1).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Hujan Wilayah

Data yang digunakan dalam memprediksi indeks kekeringan D.I Kelayang adalah data bulanan hujan kawasan mulai dari tahun 1998 sampai tahun 2018 yang berjumlah 252 data. Data tersebut adalah data harian 4 stasiun hujan ini diolah menjadi data bulanan dan dijadikan hujan kawasan D.I Kelayang dengan metode aljabar sehingga diperoleh data hujan wilayah pada tabel 2.

Tabel 2. Data Hujan Wilayah Kelayang

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
1998	118,55	133,50	164,48	145,43	138,83	175,00	144,48	230,70	209,58	136,90	88,03	194,25
1999	186,25	127,63	285,40	112,48	136,88	92,90	114,83	185,68	133,98	298,05	229,78	203,75
2000	264,50	153,23	140,65	310,75	190,05	156,58	91,93	156,68	176,00	176,13	237,40	287,68
2001	239,58	161,40	181,58	219,78	151,65	92,03	111,63	189,05	133,83	264,90	385,75	243,18
2002	300,65	92,63	264,00	231,28	167,73	124,43	111,93	67,03	159,68	183,10	409,73	375,85
2003	264,98	233,55	298,10	352,15	154,63	70,73	128,40	113,43	162,08	329,75	273,70	315,05
2004	261,43	171,35	251,35	200,40	159,80	117,85	223,90	94,30	224,30	276,30	294,15	298,23
2005	136,53	77,93	151,65	249,20	284,60	99,80	146,85	170,35	239,65	266,23	286,50	240,48
2006	326,15	124,70	337,38	446,03	240,15	153,80	104,20	93,93	124,68	119,08	262,00	301,15
2007	203,95	174,75	171,83	243,78	258,80	101,15	139,05	115,55	202,70	166,93	264,83	211,85
2008	228,08	146,17	336,50	269,17	120,92	120,58	56,33	253,58	224,00	198,58	268,35	134,83
2009	139,05	126,60	364,20	195,58	139,95	75,18	53,13	85,83	183,60	223,95	331,63	372,30
2010	249,25	204,67	205,17	355,58	85,00	177,50	370,17	310,92	192,75	299,25	415,00	187,58
2011	237,58	130,33	148,33	322,45	153,53	183,35	126,38	136,63	148,65	228,23	234,88	158,13
2012	119,92	155,60	183,86	355,01	186,42	34,84	130,18	82,19	180,39	225,23	425,22	236,03
2013	75,48	101,28	110,58	123,85	173,08	72,20	72,55	70,38	96,95	125,70	216,73	190,08
2014	103,93	60,18	93,95	59,15	65,75	22,88	34,60	84,05	90,40	120,93	185,50	115,63
2015	65,40	87,50	117,78	126,25	104,53	29,58	25,55	35,43	35,93	70,50	187,85	177,68
2016	118,18	86,15	149,30	138,10	114,38	31,70	86,40	48,93	54,30	125,88	144,75	73,60
2017	130,75	197,93	191,93	264,30	224,33	107,13	213,75	128,13	239,38	123,10	320,40	165,75
2018	110,25	161,00	205,73	193,15	191,13	135,25	76,28	96,80	57,55	253,03	342,38	174,88

Tabel 2 menunjukkan bahwa curah hujan terbesar yakni 446,03 mm terjadi pada bulan April 2006 dan curah hujan terendah 22,88 mm terjadi pada bulan Juni 2014.

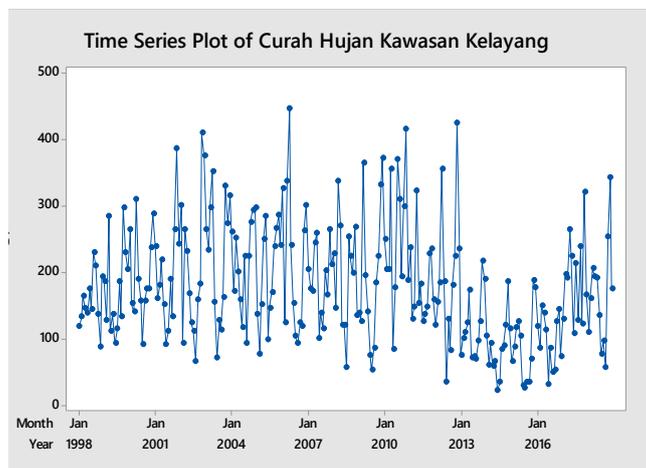
3.2 Peramalan

Data curah hujan merupakan data deret waktu (*time series*). Peramalan data deret waktu dilakukan dengan mengidentifikasi pola-pola data historis masa lalu yang diambil secara berkala untuk membuat perkiraan di masa depan. Berdasarkan data hujan kawasan dari tahun 1998-2018, diketahui bahwa data tersebut mengandung pola musiman. Pola musiman dipengaruhi oleh faktor musiman yang terjadi secara berulang. Dengan demikian dapat digunakan model *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (SARIMA) untuk meramalkan curah hujan wilayah yang akan datang yang digunakan untuk menghitung indeks kekeringan di daerah Kelayang. Data hujan tersebut diolah melalui empat tahap yaitu identifikasi model, estimasi parameter, pemeriksaan diagnostik, dan peramalan. Sebelum mengidentifikasi model, kita harus memastikan dulu bahwa data telah stasioner.

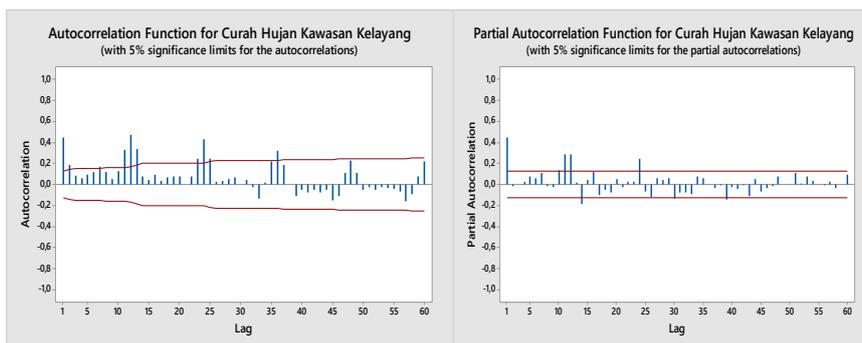
Kestasioneran

Uji pola data merupakan kegiatan menganalisis pola pergerakan data curah hujan wilayah. Pola data menggambarkan karakteristik data dalam suatu periode. Gambar 3 merupakan grafik curah hujan wilayah Kelayang Januari 1998 sampai Desember 2018.

Berdasarkan Gambar 3, dapat dikatakan bahwa data tersebut mengandung pola musiman yang terus berulang setiap tahun, oleh sebab itu metode yang digunakan dalam melakukan *forecast* terhadap data tersebut adalah metode SARIMA. Data curah hujan wilayah Kelayang terlihat stasioner terhadap *mean*, tetapi tidak stasioner terhadap varian. Stasioner dalam *mean* dapat dilihat pada plot data *time series* yang terlihat berfluktuasi di sekitar garis yang sejajar sumbu waktu. Untuk lebih lanjut, kita dapat melihat plot ACF dan PACF dari data curah hujan wilayah Kelayang pada Gambar 4.



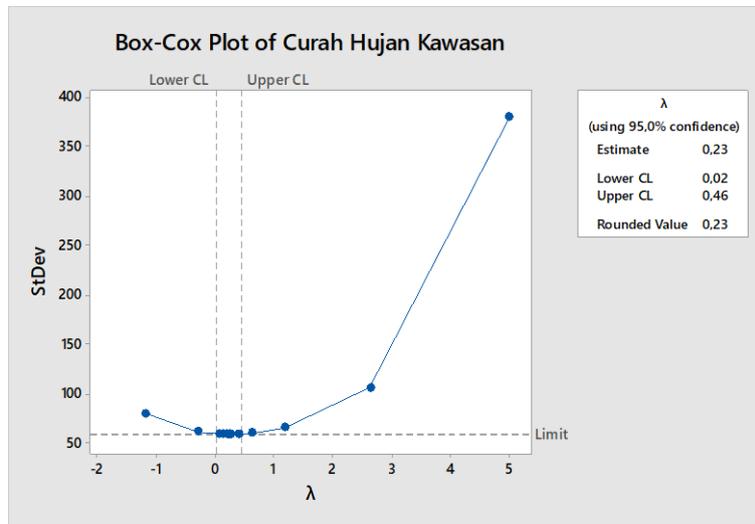
Gambar 3. Plot Data Curah Hujan Wilayah



Gambar 4. Plot ACF dan PACF

Grafik ACF dan PACF pada Gambar 4 menunjukkan bahwa data sudah stasioner terhadap *mean* karena *lag-lag* pada ACF turun secara eksponensial pada *lag* 2. Karena data tidak mengalami pola kenaikan ataupun penurunan, maka tidak perlu dilakukan *differencing nonseasonal* sehingga $d=0$. Tetapi, *lag-lag* pada ACF mengindikasikan adanya unsur pola *seasonal* pada data ditandai dengan *lag-lag* ACF yang membentuk pola gelombang. Untuk menghilangkan ketidakstasioneran data yang diakibatkan oleh pola *seasonal* dilakukan *differencing seasonal* sehingga orde $D=1$.

Plot data tidak stasioner terhadap varian dapat dilihat dari simpangan data yang besar atau variannya dipengaruhi oleh deret waktu atau konstan. Untuk memastikan data tidak stasioner terhadap varian dapat dilakukan pemeriksaan dengan transformasi *Box-Cox*. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Gambar 5.

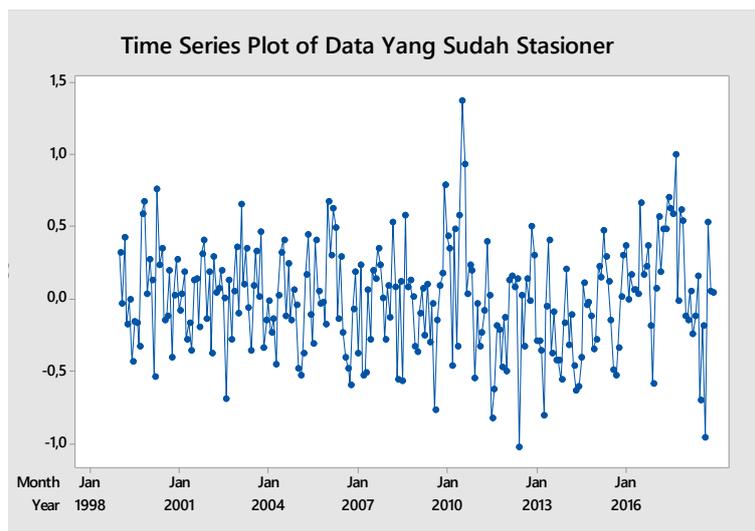


Gambar 5. *Box-Cox Plot*

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa *Rounded Value* adalah 0,23 yang berarti data belum stasioner terhadap varians sehingga perlu dilakukan transformasi data sampai diperoleh *Rounded Value* = 1. Setelah data stasioner terhadap varians maka dilanjutkan dengan uji kestasioneran dalam *mean* dengan *Augmented Dickey Fuller*. Hasil uji menunjukkan nilai *ADF test statistic* = $|-8,597648| > |-2,873440|$ pada nilai kritis 5% dengan *probability* = 0,0000. Hal ini menunjukkan bahwa data sudah stasioner terhadap *mean*.

Identifikasi Model

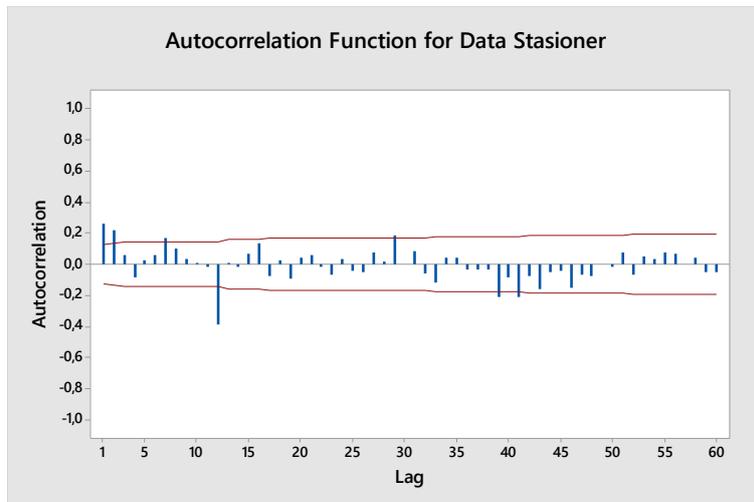
Data sudah stasioner terhadap *mean* dengan melakukan *differencing seasonal* dan stasioner terhadap varians dengan melakukan transformasi data dapat dilihat grafiknya pada Gambar 6.



Gambar 6. Plot Data Stasioner

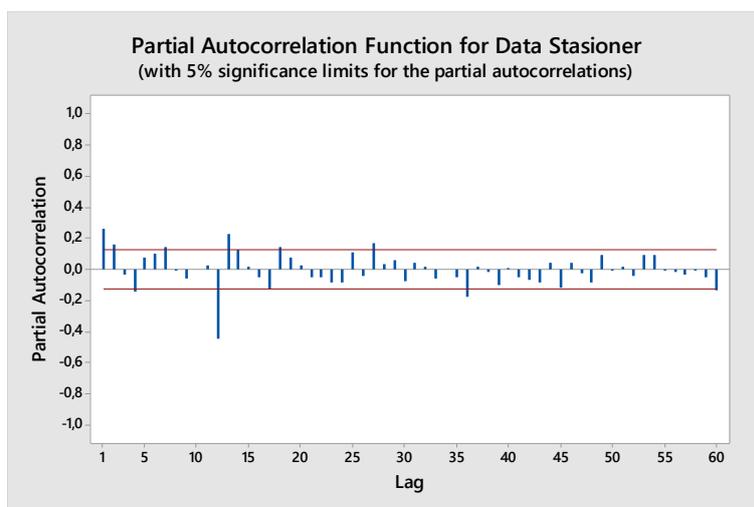
Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa data berfluktuasi sepanjang sumbu waktu dan memiliki simpangan atau varian yang tidak terlalu besar sehingga dapat disimpulkan bahwa data sudah stasioner. Setelah data stasioner, maka tahapan selanjutnya adalah menentukan model sementara dengan melihat plot ACF dan PACF pada data yang sudah stasioner. Plot ACF digunakan untuk

menentukan orde *Moving Average* (q) dan *Moving Average* musiman (Q). Plot PACF digunakan untuk menentukan orde *Autoregressive* (p) dan *Autoregressive* musiman (P).



Gambar 7. Plot ACF

Berdasarkan Gambar 7, plot ACF terlihat *cutt off* pada lag 1, lag 2 dan lag 12(lag 1 musiman) sehingga orde *Moving Average* yang mungkin adalah q=1, q=2 dan Q=1.



Gambar 8. Plot PACF

Berdasarkan Gambar 8, plot PACF terlihat *cutt of* pada lag 1, lag 2, lag 4, dan lag 12 (lag 1 musiman) sehingga orde *Autoregressive* yang mungkin adalah p=2 dan P=1. Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa model sementara yang mungkin adalah SARIMA(0,0,1)(0,1,1)¹², SARIMA(1,0,0)(0,1,1)¹², SARIMA(1,0,1)(0,1,1)¹², SARIMA(2,0,0)(0,1,1)¹², SARIMA(0,0,2)(0,1,1)¹², SARIMA(2,0,2)(0,1,1)¹², SARIMA(2,0,1)(0,1,1)¹², SARIMA(1,0,2)(0,1,1)⁷, dan SARIMA(4,0,0)(0,1,1)¹²

Estimasi Parameter

Setelah menetapkan model sementara, dilakukan estimasi pada parameter AR dan MA, musiman dan non musiman dengan menggunakan metode kuadrat terkecil atau *ordinary least square*. Model yang baik adalah model yang menunjukkan estimasi parameter-parameter yang signifikan berbeda dengan nol. Hasil estimasi parameter (uji signifikansi) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Uji Signifikansi

No	Model	Uji Signifikansi
1	SARIMA(0,0,1)(0,1,1) ¹²	Signifikan
2	SARIMA(1,0,0)(0,1,1) ¹²	Signifikan
3	SARIMA(1,0,1)(0,1,1) ¹²	Signifikan
4	SARIMA(2,0,0)(0,1,1) ¹²	Signifikan
5	SARIMA(0,0,2)(0,1,1) ¹²	Signifikan
6	SARIMA(2,0,2)(0,1,1) ¹²	Tidak Signifikan
7	SARIMA(2,0,1)(0,1,1) ¹²	Signifikan
8	SARIMA(1,0,2)(0,1,1) ¹²	Tidak Signifikan
9	SARIMA(4,0,0)(0,1,1) ¹²	Tidak Signifikan

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa model-model yang mempunyai parameter-parameter yang signifikan berbeda dengan nol adalah SARIMA(0,0,1)(0,1,1)¹², SARIMA(1,0,0)(0,1,1)¹², SARIMA(1,0,1)(0,1,1)¹², SARIMA(2,0,0)(0,1,1)¹², SARIMA(0,0,2)(0,1,1)¹², dan SARIMA(2,0,1)(0,1,1)¹². Sehingga untuk tahapan selanjutnya model-model tersebut dapat digunakan.

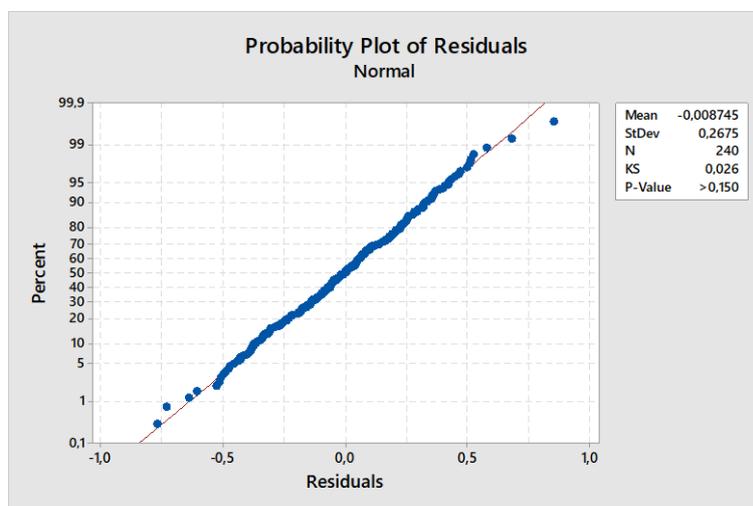
Verifikasi (Diagnostic Check) Model

Hal yang dilakukan pada tahapan ini yaitu melihat apakah model yang dihasilkan sudah layak digunakan untuk peramalan atau belum, dengan melihat residual yang dihasilkan model. Uji yang dilakukan adalah uji kerandoman residual dan uji kenormalan residual. Uji kerandoman residual dilakukan dengan menggunakan *L-Jung Box*. Dari 6 model yang memenuhi pada tahap estimasi, hanya 2 model yang memiliki nilai *P-Value* > 0,05 pada setiap lagnya pada *output L-Jung Box* yakni :

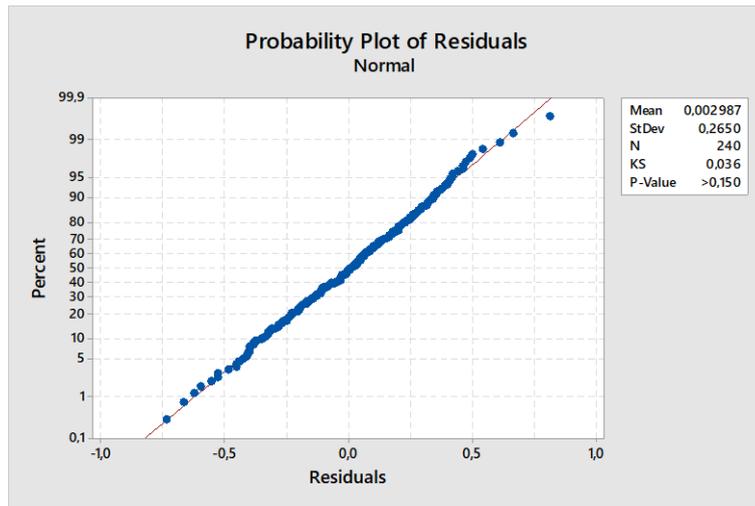
Tabel 4. Output *L-Jung Box*

Lag	P-Value	
	SARIMA(1,0,1)(0,1,1) ¹²	SARIMA(2,0,1)(0,1,1) ¹²
12	0,134	0,320
24	0,426	0,539
36	0,162	0,180
48	0,153	0,094

Sedangkan untuk Uji kenormalan residual dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Plot Residual Model SARIMA(1,0,1)(0,1,1)¹²



Gambar 10. Plot Residual Model SARIMA(2,0,1)(0,1,1)¹²

Pada Gambar 9 dan 10 dapat dilihat bahwa kedua model mempunyai sebaran data residual yang normal yang dapat dilihat dari sebaran titik-titik biru yang menyebar sepanjang garis normal dan juga nilai *p-value* > 0,05.

Peramalan

Setelah melewati berbagai tahap dalam metode SARIMA, didapatkan beberapa model yang cocok untuk digunakan dalam peramalan. Selanjutnya model-model yang cocok dievaluasi berdasarkan *Mean Square (MS) of residual* yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Mean Square (MS) of residual*

MODEL	MS (<i>Mean Squared</i>)
SARIMA(1,0,1)(0,1,1) ¹²	4135,36
SARIMA(2,0,1)(0,1,1) ¹²	4111,51

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa model SARIMA (2,0,1)(0,1,1)¹² memiliki *Mean Square (MS)* dari residual yang terkecil sehingga model tersebut dipilih untuk digunakan dalam peramalan.

Hasil peramalan curah hujan wilayah untuk 12 periode ke depan untuk tahun 2019 dan data observasi tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Peramalan Curah Hujan Wilayah Kelayang Menggunakan Model SARIMA (2,0,1)(0,1,1)¹²

Bulan	Hasil Ramalan	Data Observasi
Jan-19	158,51	274,5
Feb-19	136,77	276,75
Mar-19	194,39	248,55
Apr-19	223,21	275,95
Mei-19	161,25	133,75
Jun-19	95,17	169
Jul-19	117,45	50,875
Agt-19	116,90	63,125
Sep-19	142,13	77,875
Okt-19	183,81	161
Nov-19	272,08	119,5
Des-19	197,43	142,5

3.3 Indeks Kekeringan Dengan Metode SPI

Setelah didapatkan peramalan data curah hujan wilayah D.I Kelayang tahun 2019, kemudian dilakukan penghitungan indeks kekeringannya berdasarkan data historis curah hujan wilayah dari tahun 1998 sampai 2018 dan hasil ramalan tahun 2019 dengan metode SPI.

Tabel 7. Indeks Kekeringan dan Sifat Kekeringan D.I Kelayang

BULAN	INDEKS KEKERINGAN	SIFAT KEKERINGAN
Jan-19	-0,232	Normal
Feb-19	0,057	Normal
Mar-19	-0,006	Normal
Apr-19	-0,094	Normal
Mei-19	0,020	Normal
Jun-19	0,057	Normal
Jul-19	0,169	Normal
Agt-19	0,101	Normal
Sep-19	-0,052	Normal
Okt-19	-0,087	Normal
Nov-19	-0,112	Normal
Des-19	-0,199	Normal

Dari tabel 7 dapat dilihat bahwa nilai indeks kekeringan pada tahun 2019 yang dianalisis menggunakan data peramalan (*forecast*) dari data hujan histori di D.I Kelayang berkisar antara -0,232 (Januari) sampai 0,169 (Juli) yang bersifat “Normal”.

Dari 7 (tujuh) skala sifat kekeringan yaitu ekstrem basah, basah, sangat basah, normal, kering, sangat kering, dan ekstrem kering, indeks kekeringan SPI di D.I Kelayang hanya mengalami 1 (satu) skala sifat yakni “Normal”.

4. KESIMPULAN

Model SARIMA(2,0,1)(0,1,1)¹² layak digunakan dalam peramalan curah hujan wilayah D.I Kelayang karena estimasi setiap parameternya secara signifikan berbeda dengan nol, memenuhi pemeriksaan *diagnostic* dimana residual dari model bersifat acak dan terdistribusi normal, dan memiliki nilai *mean squared* 4111,51.

Nilai indeks kekeringan pada tahun 2019 yang dianalisis menggunakan data peramalan (*forecast*) dari data hujan histori di D.I Kelayang bersifat “Normal”. Indeks SPI bernilai negatif yang tertinggi terjadi pada bulan Januari yaitu -0,232 dan SPI bernilai positif tertinggi terjadi pada bulan Juli yaitu sebesar 0,169.

Peramalan indeks kekeringan ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pemerintah terutama Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dalam mengantisipasi dampak kekeringan pada periode yang akan datang. Selain itu, diharapkan peneliti lain dapat menggunakan metode peramalan lainnya sebagai perbandingan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti sangat berterima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sumatra III Provinsi Riau karena telah membantu terkait data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mujtahiddin dan M. Iid, 2014, “Analisis Spasial Indeks Kekeringan Kabupaten Indramayu Spatial Analysis Of Drought Index In District Indramayu,” *J. Meteorologi Dan Geofisika*, vol. 15, no. 2, pp.99-107, 2014.
- [2] E. Hermawan, V. Juniarti, Trismidianto, Krismianto, F. Ibnu, dan S. Ining, “Pengembangan ekspert sistem berbasis indeks ENSO, DMI, MONSUN, dan MJO Untuk Penentuan Awal Musim,” *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY, Semarang*, 2010.

- [3] W. Rahmalina, Sukri, "Peramalan Jumlah Kunjungan Wisatawan Pulau Cinta Menggunakan Metode ARIMA," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Pekanbaru*, 2018.
- [4] A. Supriatna, B. Subartini, E. Hertini, Riaman, "Prediksi Wisatawan Mancanegara Ke Jawa Barat Melalui Pintu Masuk Bandara Husein Sastranegara dan Pelabuhan Muarajati Menggunakan Metode SARIMA," *8th Industrial Research Workshop and National Seminar Politeknik Negeri Bandung July 26 - 27, 2017*.
- [5] S. Makridakis, S.C. Wheelwright and R.J. Hyndman, "Forecasting: methods and applications," *JohnWiley & Sons: New York*, 1998.
- [6] T. Aprilliyanti dan M. Zainuddin, "Pemetaan Potensi Kekeringan Lahan se-pulau Batam menggunakan Teknik Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Penginderaan Jauh.," *Majalah Geografi Indonesia*, vol. 31, no.1, pp.91-94, 2017.
- [7] D. Utami, R. R. Hadiani, S. Susilowati, "Prediksi Kekeringan Berdasarkan Standardized Precipitation Index (SPI) Pada Daerah Aliran Sungai Keduang Di Kabupaten Wonogiri," *J. Matriks Teknik Sipil*, vol.1, no.3, pp.221-226, 2013.
- [8] N.E. Darfia, W. Rahmalina, "Analisis Indeks Kekeringan Di Daerah Irigasi Kelayang Kabupaten Indragiri Hulu Provinsi Riau," *J. Infrastruktur*, vol.5 no. 1, pp.35-44, 2019
- [9] R.A. Yaffee and M. McGee, "An introduction to time series analysis and forecasting: with applications of SAS® and SPSS®," *Elsevier*, 2000.
- [10] N. Lestari dan N. Wahyuningsih, "Peramalan Kunjungan Wisatawan dengan Pendekatan Model SARIMA (Studi Kasus: Kusuma Argo Wisata)," *J. Sains dan Seni ITS*, vol 1, no.1, pp.29-33, 2012.
- [11] Hadijah, "Peramalan Operasional Reservasi Dengan Program Minitab Menggunakan Pendekatan Arima Pt Surindo Andalan," *J. The WINNERS*, vol. 14, no. 1, pp.13-19, 2013.
- [12] M. Ibrahim, M. Jamil, S. Akbar, A.M. Akhtar, Z.H. Mir, A.B. Imran, and A.J. Akhtar, "The fitting of SARIMA model on peads patients coming at outpatients medical laboratory (OPML), Mayo hospital, Lahore," *JUMDC*, vol.7, no.1, pp.12-18, 2016.
- [13] N.E. Darfia, M.S.B. Kusuma, dan A.A. Kuntoro, "Analisis Indeks Kekeringan di DAS Rokan Provinsi Riau Menggunakan Data CFSR," *J. Rab Construction Research*, vol.1, no 2, pp.120-134, 2016.

Konservasi Air Di Provinsi Kalimantan Utara (Studi Potensi Embung Di Kabupaten Bulungan)

Eddy Harviyanti¹, Zainal Abidin², Nofrizal³

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Kaltara, Tanjung Selor

Email : enny.harviyanti@yahoo.com

²Jurusan Teknik Sipil Universitas Kaltara, Tanjung Selor

Email : Zainal.Abidin@gmail.com

³Jurusan Teknik Sipil Universitas Kaltara, Tanjung Selor

Email : Nofrizal.Unikal@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan studi ini untuk menginventarisasi sungai-sungai yang potensial dijadikan lokasi embung untuk memenuhi kebutuhan air penduduk di sekitarnya dan mengetahui debit yang tersedia pada sungai tersebut. Metodologi yang digunakan adalah pengumpulan data dari instansi terkait, survei lapangan, pemilihan lokasi embung dan analisis kebutuhan & ketersediaan air di sungai. Berdasarkan kriteria pemilihan lokasi embung dengan ketiga aspek, nilai modifikasi bobot pertimbangan dan pertimbangan salah satu aspek saja maka disimpulkan nilai lokasi yang tertinggi adalah Embung Tanjung Palas. Neraca air Embung Tanjung Palas menunjukkan bagaimana kriteria dari aspek teknis dan non teknis memiliki ranking tertinggi.

Kata Kunci : Daerah Aliran Sungai, Nilai lokasi dan neraca air

ABSTRACT

The purpose of this study is to make an inventory of potential rivers to be used as reservoir locations to meet the water needs of the surrounding population and to determine the available discharge on the river. The methodology used is data collection from relevant agencies, field surveys, selection of reservoir locations and analysis of water needs & availability in rivers. Based on the selection criteria for the reservoir location with the three aspects, the value of the modified weight consideration and consideration of just one aspect, it is concluded that the highest location value is the Tanjung Palas Embung. Tanjung Palas Embung water balance shows how the criteria from the technical and non-technical aspects have the highest rank.

Keywords: Watershed, location value and water balance.

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka pemanfaatan potensi sumber daya air dan meningkatkan kesejahteraan penduduk melalui pelaksanaan pembangunan nasional maka perlu upaya pembangunan prasarana yang menyangkut aspek : pengembangan potensi sumber air menjadi sumber air buatan (embung atau waduk) dan pemanfaatan sumber air guna memenuhi berbagai keperluan akan air (air baku bagi rumah tangga, siram tanaman, kebutuhan ternak dan lain sebagainya).

Memperhatikan kondisi topografi di Kabupaten Bulungan yang berbukit-bukit dan di sela-sela tebing terdapat aliran sungai yang memiliki potensi dapat di tingkatkan potensinya. Sebagian besar curah hujan yang terjadi dalam hujan badai yang hanya terjadi beberapa kali sehingga menyebabkan banjir besar yang selanjutnya terbuang ke laut. Mata air yang merupakan sumber aliran dasar sungai sangat jarang dijumpai di musim kering. Untuk mengatasi kekurangan air pada musim kering dan menyimpan air pada musim hujan diperlukan suatu bangunan pengendali seperti embung. Selama musim kering air dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan penduduk, ternak dan kebun.

Wilayah Sungai Kayan merupakan bagian dari enam wilayah sungai yang secara administratif meliputi dua kabupaten, yaitu Kabupaten Malinau dan Bulungan Provinsi Kalimantan Utara. Di sepanjang Wilayah Sungai Kayan mengalir sungai besar dan kecil tidak kurang dari ratusan sungai dan bermuara ke laut Sulawesi. Sungai-sungai tersebut sangat potensial dikembangkan sebagai sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan air penduduk.

Tujuan studi ini adalah menginventarisasi sungai-sungai yang potensial dijadikan lokasi embung untuk memenuhi kebutuhan air penduduk di sekitarnya dan untuk mengetahui jumlah ketersediaan air pada sungai tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Debit Andalan/Ketersediaan Air

Beberapa metode dapat dilakukan untuk mengetahui debit andalan ini seperti metode empiris (*FJ. Mock* dan *SMEC*) dan pengukuran langsung di lokasi dengan memasang alat pengukur debit *Automatic Water Level Record* (AWLR)

a. Pengukuran di lokasi

Debit sesat di lokasi calon embung dilakukan dengan bantuan alat pengukur kecepatan (*currentmeter*). Hasil pengukuran kecepatan dikalikan dengan luas penampang basah sungai untuk mendapatkan debit. Hal ini dilakukan beberapa kali pengukuran dan di beberapa titik pengamatan.

b. Metode Empiris (*SMEC*)

Metode *SMEC* pertama kali dibuat oleh Konsultan *SMEC* pada tahun 1982 yang didasarkan pada jenis tanah daerah tangkapan (*Catchment area*). Metode *SMEC* dikembangkan dalam 2 zona yang dibedakan menurut kondisi geologinya, yaitu zona A dan zona B.

- Zona A Sebagian besar daerah pengaliran saat terjadinya hujan, pengisian air tanah akan terjadi secara perlahan – lahan, sehingga debit sungai cepat naik. Persamaan yang digunakan adalah :

$$Q2 = A(0,210 \text{ MMR} - 8,50) \times 10^{-3}, \text{ untuk } \text{MMR} \leq 250 \text{ mm}$$

$$Q2 = A(0,366 \text{ MMR} - 47,5) \times 10^{-3}, \text{ untuk } \text{MMR} \geq 250 \text{ mm}$$

- Zona B Sebagian daerah pengaliran sungai, air tanah terjadi dengan cepat. Adapun persamaan yang digunakan adalah:

$$Q2 = A(0,20 \text{ PI}) \times 10^{-3}, \text{ untuk } \text{PI} < 300 \text{ mm}$$

$$Q2 = A(0,32 \text{ PI} - 36,0) \times 10^{-3}, \text{ untuk } \text{PI} \geq 300 \text{ mm}$$

$$\text{PI} = (1/3 \text{ MMR} + 2/3 \text{ MMR sebelumnya})$$

Untuk aliran zona A dan zona B:

$$Q5 = 0,75 \times Q2$$

c. Metode *FJ. Mock*

Prinsip dasar metode ini didasarkan pada hujan yang jatuh pada catchment area sebagian akan hilang sebagai evapotranspirasi, sebagian langsung menjadi aliran permukaan dan sebagian lagi akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Proses infiltrasi pada tahap pertama akan menjenuhkan tanah permukaan dan menjadi perkolasi membentuk air bawah permukaan (*ground water*) yang selanjutnya akan keluar di sungai sebagai aliran dasar (*base flow*).

Persamaan yang digunakan antara lain adalah :

$$Q = (\text{Dro} + \text{Bf}) A$$

2.2 Kebutuhan Air Bersih

a. Karakteristik pemakaian air pemakaian air secara garis besar dapat dikelompokkan dalam:

- Pemakaian air bersih untuk kebutuhan rumah tangga (domestik).
 - 1) Sambungan langsung atau sambungan rumah (SR).

Berdasarkan pada ketentuan yang digunakan oleh Dirjen Pengembangan Perkotaan Departemen KIMPRASWIL, untuk kebutuhan air bersih:

 - a) Kota Metro dengan jumlah penduduk = > 100000 jiwa sebesar 190 liter/hari/orang
 - b) Kota besar dengan jumlah penduduk = 500001 – 1000000 jiwa sebesar 170 liter/hari/orang
 - c) Kota sedang dengan jumlah penduduk = 100001 – 500000 jiwa sebesar 150 liter/hari/orang
 - d) Kota kecil dengan jumlah penduduk = 10001 – 100000 jiwa sebesar 130 liter/hari/orang
 - 2) Sambungan tidak langsung atau kran umum (KU). Dimana satu buah kran umum akan melayani 200 jiwa penduduk dengan pemakaian air rata-rata 30 liter/orang/hari.
- Pemakaian air untuk kebutuhan sosial.
 - 1). Kebutuhan air untuk fasilitas pendidikan sebesar 10 liter/orang/hari
 - 2). Kebutuhan air untuk fasilitas perkantoran sebesar 10 liter/orang/hari
 - 3). Kebutuhan air untuk rumah sakit $12 \text{ m}^3/\text{unit}/\text{hari}$
 - 4). Fasilitas kesehatan lainnya kebutuhan air sebesar 1000 liter/unit/hari
 - 5). Kebutuhan air untuk fasilitas ibadah sebesar $2 \text{ m}^3/\text{hari}/\text{unit}$
 - 6). Kebutuhan air untuk fasilitas perdagangan sebesar $12 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{hari}$
- Pemakaian air untuk kebutuhan industri. Pemakaian air untuk kebutuhan industri mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap kebutuhan air secara keseluruhan. Jumlah kebutuhan air tergantung dari jenis industrinya. Untuk industri yang

tidak terlalu besar memerlukan jumlah air sebesar 5 % dari kebutuhan rumah tangga.

- Pemakaian air untuk umum dan kehilangan air
Pemakaian air yang dapat di kategorikan sebagai kebutuhan umum adalah untuk penyiraman tanaman, sanitasi, pemadam kebakaran, dan lainnya. Sedangkan kehilangan air disebabkan oleh adanya kebocoran pada pipa distribusi, sambungan ilegal, kerusakan atau ketidaktepatan pembacaan meteran. Besarnya angka kehilangan air pada umumnya ditetapkan berkisar antara: 20% untuk sistem baru dan 30 – 50% untuk sistim lama.

b. Fluktuasi Kebutuhan Air

Untuk faktor kebutuhan air pada hari maksimum ini ditetapkan berkisar antara 1,15 – 1,20. Sedangkan untuk faktor kebutuhan air pada jam puncak berkisar antara 1,75 – 2,00.

2.3 Kriteria pengembangan

Perlu dilakukan suatu skala prioritas dalam pengembangan suatu embung dengan cara kriteria praktis dalam pemilihan lokasi sehingga didapatkan suatu hasil yang optimal. Adapun kriteria tersebut adalah:

- Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) lebih kecil dari 10 km² untuk tiap *onstream* reservoir
- Di daerah irigasi tadah hujan/irigasi sederhana yang telah ada dan dimanfaatkan untuk:
 - Sawah tadah hujan/irigasi desa
 - Lahan untuk tanaman palawija/sayur mayur
 - Lahan untuk ladang penggembalaan
- Pengadaan air bersih untuk desa
 - Jarak desa/komplek pemukiman tidak lebih dari 5 km dari lokasi
 - Desa tersebut belum ada program air bersih atau bermasalah kekurangan air bersih di musim kemarau, diutamakan desa tertinggal
- Tinggi embung maksimum 8 m atau volume tampungan 1 juta m³
- Bahan timbunan utama tersedia di dekat *site*
- Untuk bahan kedap air (lempung) tersedia pada jarak lebih kecil dari 5 km dari *site* embung
- Lahan manfaat harus mengacu pada Tata Ruang Daerah
- Dapat diterima baik oleh masyarakat pemakai air setempat
 - Bobot pertimbangan Dalam pertimbangan pemilihan lokasi embung ditinjau dua aspek seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Bobot Pertimbangan Pemilihan Lokasi Embung

No.	Aspek Teknis	Bobot Pertimbangan
1	Bentang As Embung	3%
2	Volume Tampungan (m ³)	8%
3	Jarak Ketersediaan Material (m)	9%
4	<i>Baseflow</i>	3%
5	Kondisi Geologi	6%
6	Jalan Masuk Ke Lokasi <i>Site</i>	8%
7	Kondisi Daerah Aliran Sungai	5%
8	Jarak Daerah Layanan (m)	8%
9	Lokasi Embung	6%
10	Sistem Distribusi Air	8%

No.	Aspek Non Teknis	Bobot Pertimbangan
1	Manfaat (Air Baku/Irigasi)	11%
2	Kondisi Masyarakat Penerima Manfaat	4%
3	Pencapaian Lokasi	5%
4	Kepemilikan Lahan	4%
5	Dampak Lingkungan	7%
6	Tanggapan Masyarakat	8%
7	Prioritas Kebutuhan Penduduk	6%
8	Kemudahan Dalam Pembebasan Lahan	10%

Pemberian nilai bobot pertimbangan berdasarkan besaran-besaran yang telah dapat diterima pada beberapa studi embung seperti yang dilakukan oleh Balai Wilayah Sungai.

- Nilai Lokasi
- a) Aspek Teknis
 - Bentang As Embung (3%)
 - Jika Bentang As Embung Memiliki Panjang 30-70 m memiliki nilai antara 10-8
 - Jika Bentang As Embung Memiliki Panjang 70-100 m memiliki nilai antara 7-4
 - Jika Bentang As Embung Memiliki Panjang >100 m memiliki nilai antara 3-0
 - Volume Tampungan (m^3)
 - Jika Volume Tampungan Embung >100.000 m^3 memiliki nilai antara 10-8
 - Jika Volume Tampungan Embung berada di antara 40.000 – 100.000 m^3 memiliki nilai antara 7-4
 - Jika Volume Tampungan Embung <40.000 m^3 memiliki nilai antara 3-0
 - Jarak Ketersediaan Material (Batu & Tanah Urugan)
 - Jarak tempuh pengambilan material batuan berjarak <500 m memiliki nilai 10-8
 - Jarak tempuh pengambilan material batuan berjarak antara 500-1000 m memiliki nilai 7-4
 - Jarak tempuh pengambilan material batuan berjarak >1000 m memiliki nilai 3-0
 - Baseflow Ketersediaan
 - Tidak ada *baseflow* memiliki nilai 10-8
 - *Baseflow* hanya tersedia sampai bulan Juni (6 Bulan) memiliki nilai 7-4
 - *Baseflow* selalu ada sepanjang tahun memiliki nilai 3-0
 - Kondisi Geologi
 - Kondisi geologi memiliki klasifikasi permeabel memiliki nilai 10-8
 - Kondisi geologi memiliki klasifikasi semi permeabel memiliki nilai 7-4
 - Kondisi geologi memiliki klasifikasi *impermeabel* memiliki nilai 3-0
 - Jalan Akses Masuk Ke Lokasi *Site*
 - Kondisi akses jalan masuk ke lokasi berjarak 0-300 m memiliki nilai 10-8
 - Kondisi akses jalan masuk ke lokasi berjarak 300-1000 m memiliki nilai 7-4
 - Kondisi akses jalan masuk ke lokasi berjarak >1000 m memiliki nilai 3-0
 - Kondisi Daerah Aliran Sungai
 - Kondisi tata guna lahan di daerah aliran sungai kondisi baik memiliki nilai 10-8
 - Kondisi tata guna lahan di daerah aliran sungai kondisi sedang memiliki nilai 7-4
 - Kondisi tata guna lahan di daerah aliran sungai kondisi jelek memiliki nilai 3-0
 - Jarak Daerah Layanan Dari Lokasi Embung
 - Jarak daerah layanan baik untuk irigasi maupun suplai air baku ke lokasi pemanfaat jika <1000 m memiliki 10-8
 - Jarak daerah layanan baik untuk irigasi maupun suplai air baku ke lokasi pemanfaat jika 1000-2000 m memiliki 7-4
 - Jarak daerah layanan baik untuk irigasi maupun suplai air baku ke lokasi pemanfaat jika >2000 m memiliki 3-0
 - Situasi Lokasi *Site* Embung
 - Situasi topografi merupakan cekungan memiliki nilai 10-8
 - Situasi topografi merupakan curah/alur sungai memiliki nilai 7-4
 - Situasi topografi merupakan sungai memiliki nilai 3-0
 - Sistem Distribusi Air
 - Sistem suplai memanfaatkan gravitasi topografi memiliki nilai 10-8
 - Sistem suplai dimanfaatkan dengan cara di ambil sendiri, memiliki nilai 7-4
 - Sistem suplai menggunakan sistem ompa memiliki nilai 3-0
- b) Aspek Non Teknis
 - Kemanfaatan
 - Manfaat embung untuk air baku dan irigasi memiliki nilai 10-8
 - Manfaat embung untuk air baku memiliki nilai 7-4
 - Manfaat embung untuk irigasi memiliki nilai 3-0
 - Kondisi Masyarakat Penerimaan Manfaat
 - Secara sosial kondisi masyarakat penerima secara ekonomi masuk dalam pra sejahtera memiliki nilai 10-8
 - Secara sosial kondisi masyarakat penerima secara ekonomi masuk dalam sejahtera I memiliki nilai 7-4
 - Secara sosial kondisi masyarakat penerima secara ekonomi masuk dalam sejahtera II memiliki nilai 3-0
 - Akses Menuju Lokasi
 - Bisa menggunakan kendaraan roda 4 ke lokasi *site* embung memiliki nilai 10-8
 - Bisa menggunakan kendaraan roda 2 ke lokasi *site* embung memiliki nilai 7-4
 - Bisa menggunakan jalan kaki ke lokasi *site* embung memiliki nilai 3-0

Kepemilikan Tanah

- Lahan lokasi embung dimiliki oleh pemerintah memiliki nilai 10-8
- Lahan lokasi embung dimiliki oleh pemerintah dan penduduk memiliki nilai 7-4
- Lahan lokasi embung dimiliki oleh penduduk memiliki nilai 3-0

Dampak Lingkungan

- Memberikan dampak positif untuk konservasi lingkungan memiliki nilai 10-8
- Tidak memberikan dampak untuk konservasi lingkungan memiliki nilai 7-4
- Memberikan dampak negatif untuk konservasi lingkungan memiliki nilai 3-0

Tanggapan Masyarakat

- Masyarakat menerima terhadap kegiatan pembangunan embung memiliki nilai 10-8
- Masyarakat acuh tak acuh terhadap kegiatan pembangunan embung memiliki nilai 7-4
- Masyarakat acuh tidak menerima terhadap kegiatan pembangunan embung memiliki nilai 3-0

Prioritas Kebutuhan Penduduk

- Penduduk kondisi di tahap sangat membutuhkan memiliki nilai 10-8
- Penduduk kondisi di tahap membutuhkan memiliki nilai 7-4
- Penduduk kondisi di tahap tidak membutuhkan memiliki nilai 3-0

Kemudahan Dalam Pembebasan Lahan

- Tanpa ganti rugi memiliki nilai 10-8
- Mudah ganti rugi memiliki nilai 7-4
- Sulit dalam ganti rugi memiliki nilai 3-0

- **Perhitungan Nilai**

Perhitungan nilai lokasi embung dilakukan secara tabel. Nilai relatif adalah bobot penilaian dikalikan nilai masing-masing parameter. Total nilai dari masing-masing aspek adalah jumlah nilai relatif. Nilai lokasi adalah total nilai dikalikan bobot pertimbangan dibagi dengan total bobot penilaian. Total nilai lokasi adalah jumlah dari nilai lokasi dari setiap aspek.

- **Analisa Kepekaan/Sensitivitas**

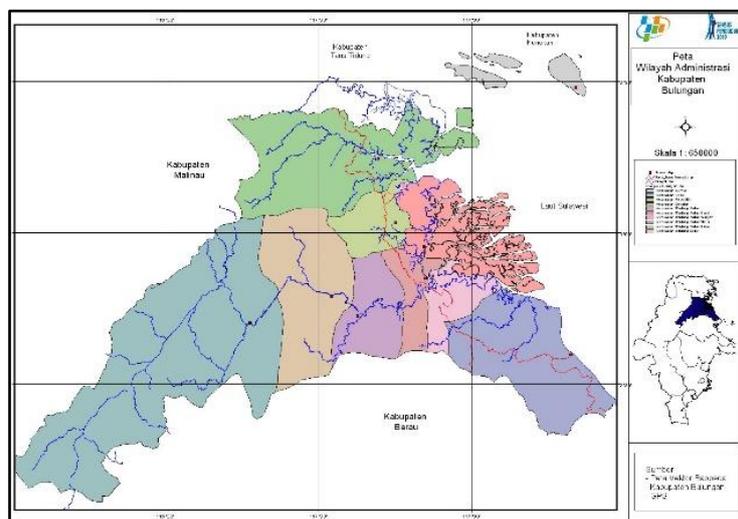
Uji sensitivitas dilakukan dengan mengubah bobot pertimbangannya:

- a. Bobot pertimbangan semua aspek dianggap sama, yakni 0,25
- b. Hanya menilai aspek teknis saja, bobot pertimbangan teknis = 1, sedangkan aspek lainnya tidak dipertimbangkan (= 0)
- c. Hanya menilai aspek irigasi dan pertaniannya saja, bobot irigasi & pertanian = 1
- d. Hanya mempertimbangkan aspek ekonomi saja, bobot ekonomi = 1
- e. Hanya mempertimbangkan aspek lingkungan, bobot pertimbangannya = 1

3. METODOLOGI

3.1. Deskripsi Lokasi Studi

Penelitian ini mengambil lokasi di Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara.



Gambar 1. Peta Wilayah Kabupaten Bulungan

- Letak Posisi :
Lintang Utara : 2°09'19"-3°34'49"
Bujur Timur : 116°04'41"-117°57'56"
- Batas Wilayah :
Sebelah Utara : Kabupaten Tana Tidung dan Kabupaten Nunukan
Sebelah Timur : laut Sulawesi dan Kota Tarakan
Sebelah Selatan: Kabupaten Berau
Sebelah Barat: Kabupaten Malinau
- Luas Wilayah : 13.181,92 Km²

3.2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data sekunder yang didapat dari *stakeholder* yang terkait, berupa :

- a) Peta rupa bumi skala 1: 50.000
- b) Data hujan dipakai stasiun yang terdekat yakni Stasiun Tanjung Harapan, Tanjung Selor.
- c) Data klimatologi dipakai stasiun klimatologi Stasiun Tanjung Harapan, Tanjung Selor.

3.3. Analisis Data

- a) Dari peta skala 1 : 50.000 ditentukan potensi daerah lokasi calon embung, baik embung *off stream* maupun *on stream*.
- b) Data hujan, klimatologi dan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) digunakan untuk menentukan ketersediaan air di sungai.

Dari peta skala 1: 50.000 yang telah ditentukan calon lokasi embung, selanjutnya dilakukan survei lapangan yang meliputi:

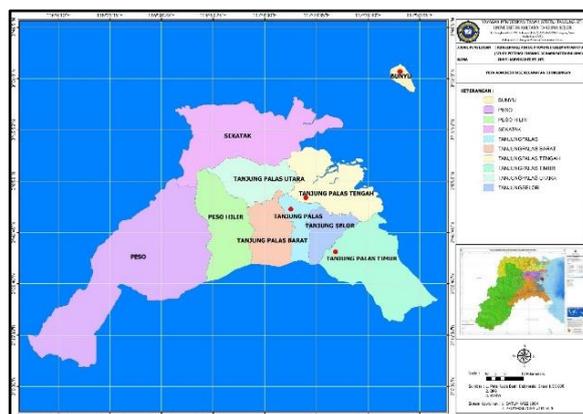
- a) Survei kondisi *site* calon embung, berupa: fondasi (dasar sungai, tebing kiri dan kanan sungai), tipe calon embung, vegetasi daerah genangan, pembebasan tanah dan membuat sketsa *site* embung.
- b) Survei hidrologi/hidrometri, berupa: luas DAS, panjang sungai, kondisi hutan (kritis, sedang, bagus), pengukuran debit sesaat secara visual (kritis, sedang, rendah) di DAS, dasar sungai, tebing kiri dan kanan sungai, bahan sedimen sungai (batu, kerikil, pasir, liat, lanau), ada tidaknya sumber mata air, tingkat kebocoran tampungan (besar, sedang, kecil) dan jarak lokasi calon embung ke desa terdekat
- c) Survei lokasi, berupa : nama kampung, nama sungai, pencapaian ke lokasi
- d) Survei geologi permukaan, berupa: kondisi batuan, sumber material konstruksi

Hasil survei tersebut digunakan sebagai bahan untuk pemilihan lokasi calon embung dengan mempertimbangkan keempat aspek seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Prioritas pengembangan dapat diketahui dengan melakukan uji kepekaan/sensitivitas terhadap nilai lokasi embung.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

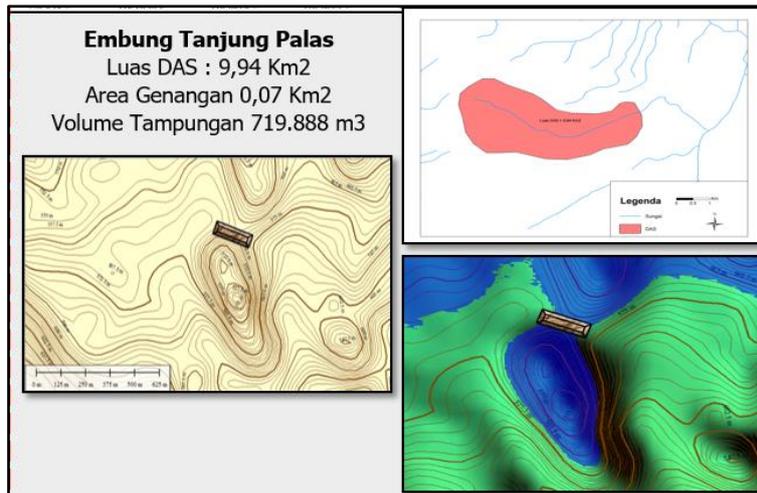
4.1. Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil investigasi lapangan diperoleh 4 lokasi yang berpotensi yaitu berlokasi di Kecamatan Tanjung Palas, Tanjung Palas Tengah, Tanjung Palas Timur dan Bunyu.

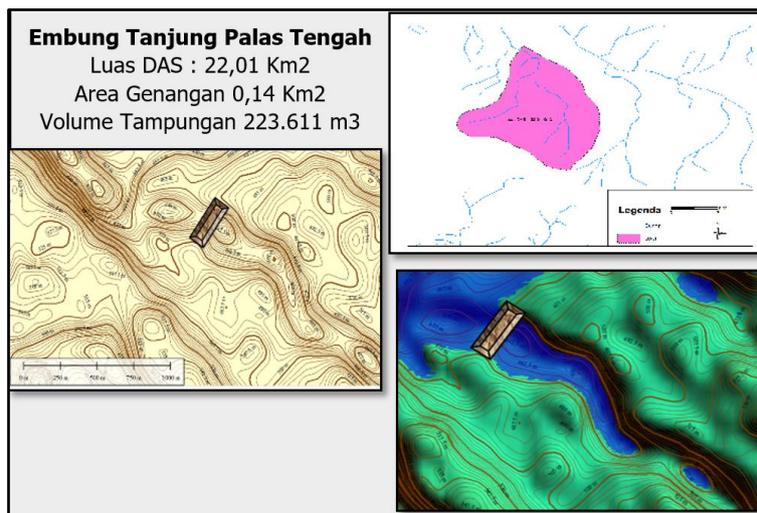


Gambar 2. Lokasi Penelitian Embung

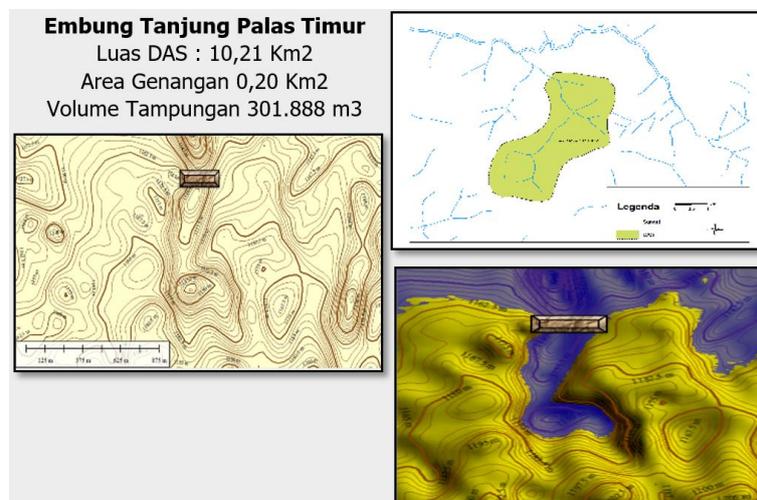
Dengan menggunakan bantuan *software Global Mapper* untuk mendapatkan kontur dan besarnya tampungan serta *ArcGIS* untuk mencari luas DAS, diperoleh analisa sebagai berikut :



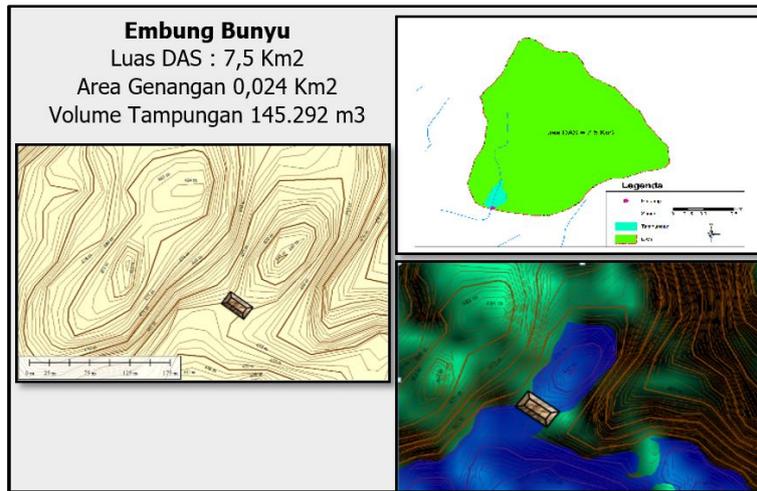
Gambar 3. Lokasi Embung Tanjung Palas



Gambar 4. Lokasi Embung Tanjung Palas Tengah



Gambar 5. Lokasi Embung Tanjung Palas Timur



Gambar 6. Lokasi Embung Bunyu

Hasil penilaian pemilihan lokasi embung disajikan pada tabel 2 & 3 dan neraca air untuk nilai lokasi tertinggi (Embung Tanjung Palas) disajikan pada Tabel 4.

4.2 Pembahasan

Dengan menggunakan dua aspek kriteria pemilihan lokasi embung, di mana bobot untuk aspek teknis dan non teknis (9,73%) untuk embung Tanjung Palas, (9,17%) untuk embung Tanjung Palas Tengah, (8,41%) untuk embung Tanjung Palas Timur dan (8,37%) untuk embung Bunyu. Sehingga berdasarkan rangking tersebut nilai tertinggi merupakan embung Tanjung Palas.

Tabel 2. Urutan Lokasi Embung Berdasarkan Nilai Lokasi Berdasarkan Aspek Teknis & Non Teknis

KETERANGAN	PENENTUAN PENELITIAN	BOBOT (B) (%)	TANJUNG PALAS			TANJUNG PALAS TENGAH			
			IDENTIFIKASI	NILAI (N)	(N X B)/100	IDENTIFIKASI	NILAI (N)	(N X B)/100	
ASPEK TEKNIS									
1	Bentang (x m) a. 30 - 70 b. 70 - 100 c. x > 100	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	3	Panjang bentang sekitar 100 m	7	0.21	Panjang bentang sekitar 100 m	7	0.21
2	Volume tampungan (m ³) a. > 100.000 b. 40.000 - 100.000 c. < 40.000	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	Volume tampungan sekitar 719.888 m ³	9	0.72	Volume tampungan sekitar 223.611 m ³	7	0.56
3	Jarak ketersediaan material (m) A. Batu a. 0 - 500 b. 500 - 1000 c. > 1000	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	3	Ketersediaan batu sekitar 2000 m	6	0.18	Ketersediaan batu sekitar 800 m	5	0.15
4	Baseflow a. Tidak ada b. Ada sampai bulan Juni c. Ada sepanjang tahun	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	3	Ada Baseflow sebesar 0,039 m ³ /dt	9	0.27	Ada Baseflow sebesar 0,044 m ³ /dt	3	0.09
5	Kondisi geologi a. Permeabel b. Semi Permeabel c. Impermeabel	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	6	Geologi Bagus dan memenuhi syarat	9	0.54	Keandalan teknis memenuhi syarat	10	0.6
6	Jalan masuk ke lokasi site (m) a. 0 - 300 b. 300 - 1000 c. > 1000	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	Sudah ada jalan masuk	10	0.80	Sudah ada jalan masuk	5	0.40
7	Kondisi DAS a. Baik b. Sedang c. Jelek	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	5	Sedang	7	0.35	Sedang	6	0.3
8	Jarak daerah layanan (m) a. ≤ 1000 b. 1000 - 2000 c. > 2000	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	kurang dari 1 km	9	0.72	kurang dari 1 km	8	0.64
9	Lokasi embung a. Cekungan b. Curah/alur sungai c. Sungai	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	6	Sungai	9	0.54	Cekungan	10	0.6
10	Sistem distribusi air a. Gravitasi b. Diambil sendiri c. Pompa	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	Gravitasi	8	0.64	Gravitasi	9	0.72

KETERANGAN	PENENTUAN PENELITIAN	BOBOT (B) (%)	TANJUNG PALASTIMUR			BUNYU		
			IDENTIFIKASI	NILAI (N)	(N X B)/100	IDENTIFIKASI	NILAI (N)	(N X B)/100
ASPEK TEKNIS		45						
1 Bentang (x m) a. 30 - 70 b. 70 - 100 c. x > 100	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	3	Panjang bentang sekitar 100 m	7	0.21	Panjang bentang sekitar 100 m	7	0.21
2 Volume tampungan (m ³) a. > 100.000 b. 40.000 - 100.000 c. < 40.000	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	Volume tampungan sekitar 301.888 m ³	8	0.64	Volume tampungan sekitar 145.292 m ³	8	0.64
3 Jarak ketersediaan material (m) A. Batu a. 0 - 500 b. 500 - 1000 c. > 1000 B. Tanah a. 0 - 500 b. 500 - 1000 c. > 1000	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0 Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	3 6	Ketersediaan batu sekitar 1000 m Ketersediaan Tanah < 500 m	6 5	0.18 0.3	Ketersediaan batu sekitar 1000 m Ketersediaan Tanah < 500 m	6 5	0.18 0.30
4 Baseflow a. Tidak ada b. Ada sampai bulan Juni c. Ada sepanjang tahun	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	3	Ada Baseflow sebesar 0,047 m ³ /dt	3	0.09	Ada Baseflow sebesar 0,047 m ³ /dt	3	0.09
5 Kondisi geologi a. Permeabel b. Semi Permeabel c. Impermeabel	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	6	Geologi Bagus dan memenuhi syarat	8	0.48	Geologi Bagus dan memenuhi syarat	8	0.48
6 Jalan masuk ke lokasi site (m) a. 0 - 300 b. 300 - 1000 c. > 1000	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	Sudah ada jalan masuk	4	0.32	Sudah ada jalan masuk	4	0.32
7 Kondisi DAS a. Baik b. Sedang c. Jelek	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	5	Baik	8	0.4	Baik	8	0.4
8 Jarak daerah layanan (m) a. ≤ 1000 b. 1000 - 2000 c. > 2000	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	kurang dari 1 km	8	0.64	kurang dari 1 km	8	0.64
9 Lokasi embung a. Cekungan b. Curah/alur sungai c. Sungai	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	6	Curah/alur sungai	5	0.3	Curah/alur sungai	5	0.3
10 Sistem distribusi air a. Gravitasi b. Diambil sendiri c. Pompa	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	Gravitasi	8	0.64	Gravitasi	8	0.64

Tabel 3. Urutan Lokasi Embung Berdasarkan Nilai Lokasi Berdasarkan Aspek Teknis & Non Teknis

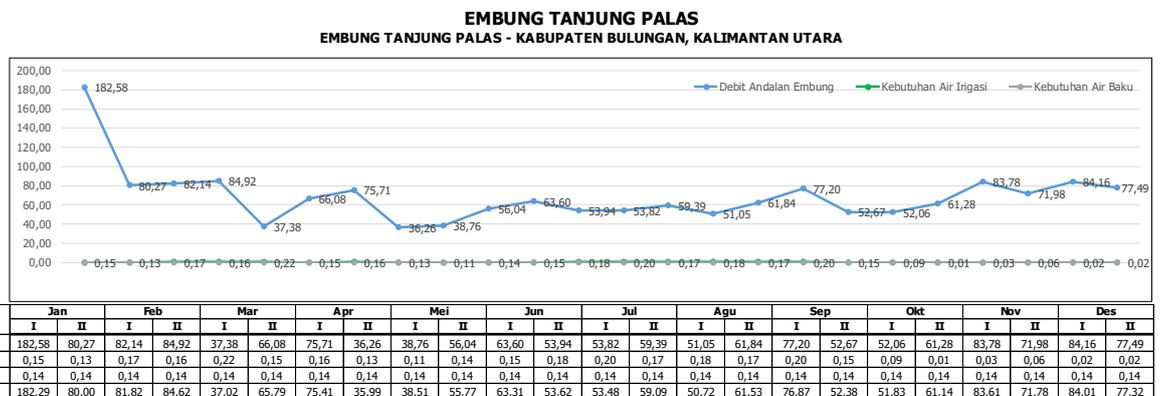
KETERANGAN	PENENTUAN PENELITIAN	BOBOT (B) (%)	TANJUNG PALAS			TANJUNG PALAS TENGAH		
			IDENTIFIKASI	NILAI (N)	(N X B)/100	IDENTIFIKASI	NILAI (N)	(N X B)/100
ASPEK NON TEKNIS		55						
1 Manfaat a. Air baku dan irigasi b. Air baku c. Irigasi	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	11	Air Irigasi dan air baku	9	0.99	Air Irigasi dan air baku	10	1.1
2 Kondisi masyarakat penerima manfaat a. Pra sejahtera b. Sejahtera I c. Sejahtera II	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	4	masyarakat Pra sejahtera	8	0.32	masyarakat Pra sejahtera	8	0.32
3 Pencapaian lokasi a. Bisa dengan roda 4 b. Bisa dengan roda 2 c. Jalan kaki	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	5	Bisa dengan roda 4 namun ditambah jalan kaki sejauh 200 m	9	0.45	Bisa dengan roda 4 namun ditambah jalan kaki sejauh 500 m	8	0.40
4 Kepemilikan tanah a. Pemerintah b. Pemerintah dan penduduk c. Penduduk	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	4	Pemerintah dan Penduduk	7	0.28	Pemerintah dan Penduduk	7	0.28
5 Dampak lingkungan a. Dampak positif b. Tidak menimbulkan dampak c. Dampak negatif	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	7	Dampak Positif	8	0.56	Dampak Positif	8	0.56
6 Tanggapan masyarakat a. Menerima b. Acuh tak acuh c. Tidak menerima	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	8	Menerima	8	0.64	Menerima	8	0.64
7 Prioritas kebutuhan penduduk a. Sangat membutuhkan b. Membutuhkan c. Tidak Membutuhkan	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	6	Sangat membutuhkan	9	0.54	Sangat membutuhkan	9	0.54
8 Kemudahan dalam pembebasan lahan a. Tanpa ganti rugi b. Mudah ganti rugi c. Sulit	Nilai = 10 - 8 Nilai = 7 - 4 Nilai = 3 - 0	10	Mudah ganti rugi	5	0.50	Mudah ganti rugi	7	0.70

KETERANGAN	PENENTUAN PENELITIAN	BOBOT (B) (%)	TANJUNG PALASTIMUR			BUNYU		
			IDENTIFIKASI	NILAI (N)	(N X B)/100	IDENTIFIKASI	NILAI (N)	(N X B)/100
ASPEK NON TEKNIS		55						
1 Manfaat								
a. Air baku dan irigasi	Nilai = 10 - 8	11	Air Irigasi dan air baku	8	0.88	Air Irigasi dan air baku	10	1.1
b. Air baku	Nilai = 7 - 4							
c. Irigasi	Nilai = 3 - 0							
2 Kondisi masyarakat penerima manfaat								
a. Pra sejahtera	Nilai = 10 - 8	4	masyarakat Pra sejahtera	8	0.32	masyarakat Pra sejahtera	8	0.32
b. Sejahtera I	Nilai = 7 - 4							
c. Sejahtera II	Nilai = 3 - 0							
3 Pencapaian lokasi								
a. Bisa dengan roda 4	Nilai = 10 - 8	5	Jalan Kaki	3	0.15	Bisa dengan roda 4 namun ditambah jalan kaki sejauh 500 m	8	0.03
b. Bisa dengan roda 2	Nilai = 7 - 4							
c. Jalan kaki	Nilai = 3 - 0							
4 Kepemilikan tanah								
a. Pemerintah	Nilai = 10 - 8	4	Pemerintah dan Penduduk	7	0.28	Pemerintah dan Penduduk	7	0.28
b. Pemerintah dan penduduk	Nilai = 7 - 4							
c. Penduduk	Nilai = 3 - 0							
5 Dampak lingkungan								
a. Dampak positif	Nilai = 10 - 8	7	Dampak positif, bisa menjadi area konservasi	10	0.7	Dampak Positif	8	0.56
b. Tidak menimbulkan dampak	Nilai = 7 - 4							
c. Dampak negatif	Nilai = 3 - 0							
6 Tanggapan masyarakat								
a. Menerima	Nilai = 10 - 8	8	Menerima	8	0.64	Menerima	8	0.64
b. Acuh tak acuh	Nilai = 7 - 4							
c. Tidak menerima	Nilai = 3 - 0							
7 Prioritas kebutuhan penduduk								
a. Sangat membutuhkan	Nilai = 10 - 8	6	Sangat membutuhkan	9	0.54	Sangat membutuhkan	9	0.54
b. Membutuhkan	Nilai = 7 - 4							
c. Tidak Membutuhkan	Nilai = 3 - 0							
8 Kemudahan dalam pembebasan lahan								
a. Tanpa ganti rugi	Nilai = 10 - 8	10	Mudah ganti rugi	7	0.70	Mudah ganti rugi	7	0.70
b. Mudah ganti rugi	Nilai = 7 - 4							
c. Sulit	Nilai = 3 - 0							

Sehingga diperoleh ranking hasil penilaian, sebagai berikut ;

NO.	NAMA EMBUNG	SKOR TOTAL	RANKING
1	EMBUNG TANJUNG PALAS	9.73	1
2	EMBUNG TANJUNG PALAS TENGAH	9.17	2
3	EMBUNG TANJUNG PALAS TIMUR	8.41	3
4	EMBUNG BUNYU	8.37	4

Tabel 4. Neraca Air Embung Tanjung Palas



Dari Tabel 3 (Neraca Air Embung Tanjung Palas) dapat dijelaskan bahwa untuk sepanjang bulan tidak terjadi kekurangan air untuk kebutuhan air irigasi untuk 100 Ha dan air bersih sampai tahun 2042. Ini karena ketersediaan air di embung dapat mencukupi kebutuhan yang di dimanfaatkan di hilir embung.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan kriteria pemilihan lokasi embung dengan kedua aspek, nilai modifikasi bobot pertimbangan dan pertimbangan salah satu aspek saja maka dapat disimpulkan nilai yang tertinggi adalah Embung Tanjung Palas. Selanjutnya untuk neraca air, tidak terjadi kekurangan air, baik untuk tahun dasar perencanaan (2019) maupun proyeksi sampai tahun 2042. Artinya di lokasi ini perlu dibangun embung yang berfungsi untuk menampung air saat musim penghujan dan mendistribusikannya pada saat musim kemarau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 1994. Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU, Jakarta: Dinas Pekerjaan Umum.
- [2] Asdak, C. 1995. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [3] Asdak, C. 2007. Hidrologi dan Pengendalian Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [4] Departemen Pekerjaan Umum. 1994. Pedoman Kriteria desain Embung Kecil Untuk Daerah Semi Kering di Indonesia. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- [5] Harto, Sri. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- [6] Hadisusanto, N. 2010. Aplikasi Hidrologi. Yogyakarta: Mediautama.
- [7] Kurniawan, Rizal A. 2009. Studi Potensi Ketersediaan Air Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Baku dalam Perencanaan Embung Kasinan Kota Batu. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.
- [8] L., Lily Montarcih. 2010. Hidrologi Terapan. Malang: CV. Citra Malang.
- [9] Linsley, Ray K. dan Yoseph B. Franzini. 1996. Teknik Sumber Daya Air. Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- [10] Muliakusumah, Sutarsih. 2000. Proyeksi Penduduk. Jakarta: Fakultas Ekonomi UI.
- [11] Soemarto, CD. 1995. Hidrologi Teknik. Jakarta: Usaha Erlangga.
- [12] Soewarno. 1995. Hidrologi-Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data. Bandung: Nova.
- [13] Subarkah, Imam. 1980. Hidrologi: untuk perencanaan bangunan air. Bandung: Idea Dharma
- [14] Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda, 1987. Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [15] Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. 1977. Bendungan Type Urugan. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [16] Soedibyo, 1993. Teknik Bendungan. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [17] Triatmodjo, Bambang. 2010. Hidrologi Terapan. Yogyakarta: Beta Offset

Pemanfaatan Limbah Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat Pada Campuran AC-WC

Ahmad Maulana¹, Megah Amaliah², Retno Utami³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung
E-mail: retnoutami@polban.ac.id

ABSTRAK

Keterbatasan sumber daya alam dalam menyediakan material membentuk beton merupakan sebuah persoalan yang penting. Oleh karena itu, lebih baik dimanfaatkan sebagai campuran aspal AC-WC seperti limbah beton pengujian praktik di POLBAN. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar terhadap kinerja karakteristik campuran aspal AC-WC. Material limbah beton yang digunakan adalah agregat kasar ukuran 12,5 mm dan 9,5 mm dan kadar limbah beton yang digunakan dalam campuran yaitu 0%, 50%, dan 100%. Tujuan dibuat 3 jenis campuran dengan kadar yang berbeda adalah agar didapatkan pengaruh limbah beton dan kadar limbah beton optimum yang dapat digunakan sebagai substitusi agregat kasar pada campuran aspal AC-WC. Metodologi campuran yang digunakan adalah dengan metode kepadatan mutlak sampai mendapatkan kadar aspal optimum. Hasil dari penelitian ini adalah dengan kadar limbah 50% nilai stabilitas naik 18,34%, nilai *flow* turun 45,43%, nilai stabilitas sisa turun 20,75%, nilai VIM naik 14,78%, nilai VMA naik 18,26%, dan nilai VFB turun 0,90%. Sedangkan dengan kadar limbah 100% nilai stabilitas naik 18,62%, nilai *flow* turun 47,21%, nilai stabilitas sisa turun 30,19%, nilai VIM naik 36,02%, nilai VMA naik 23,66%, dan nilai VFB turun 2,09%. Kadar limbah beton optimum yang dapat digunakan adalah 50%.

Kata Kunci: Limbah Beton, Campuran Aspal AC -WC, dan Kadar Substitusi Agregat Kasar

ABSTRACT

Limited natural resources in providing material to form concrete is an important issue. Therefore, it is better to use it as an AC-WC asphalt mixture such as concrete waste testing practices at POLBAN. This study aims to determine the effect of the use of concrete waste as a substitute for coarse aggregate on the performance characteristics of AC-WC asphalt mixtures. Concrete waste materials used are coarse aggregate sizes of 12.5 mm and 9.5 mm and concrete waste content used in mixtures are 0%, 50%, and 100%. The purpose of making 3 types of mixtures with different levels is to obtain the effect of concrete waste and optimum levels of concrete waste that can be used as substitute for coarse aggregate on AC-WC asphalt mixture. The mixed methodology used is the absolute density method to obtain optimum asphalt content. The results of this study are 50% of the waste value stability value increased 18.34%, flow value decreased 45.43%, residual stability value decreased 20.75%, VIM value increased 14.78%, VMA value increased 18.26%, and the VFB value is down 0.90%. Whereas with 100% waste content, the stability value increased by 18.62%, the flow value decreased by 47.21%, the remaining stability value decreased by 30.19%, the VIM value increased by 36.02%, the VMA value increased by 23.66%, and the VFB value down 2.09%. The optimum level of concrete waste that can be used is 50%.

Keywords: Concrete Waste, Asphalt Mixture AC-WC, and Coarse Aggregate Substitution Levels

1. PENDAHULUAN

Keterbatasan sumber daya alam dalam menyediakan material pembentuk beton merupakan sebuah persoalan yang penting. Seperti pembongkaran bangunan dan infrastruktur sipil dengan menggunakan material beton yang menghasilkan limbah. Limbah beton yang dibiarkan tanpa ada penanganan akan menimbulkan permasalahan tersendiri bagi lingkungan. Topik yang akan kami bahas adalah pembuatan campuran aspal menggunakan material agregat yang berasal dari limbah beton. Pemanfaatan tersebut dilakukan karena agregat merupakan bahan tidak terbaharukan dan pengambilannya selalu merusak alam. Seperti misalnya banyak sisa beton pengujian praktik di POLBAN yang tidak terpakai dan hanya menjadi sampah sehingga menghabiskan lahan. Limbah beton bekas pengujian tersebut lebih baik dipakai sebagai campuran aspal AC-WC sebagai bahan substitusi agregat. Pada penelitian ini material limbah beton yang digunakan adalah agregat kasar ukuran 12,5 mm dan 9,5 mm. Kadar limbah beton yang digunakan dalam campuran adalah 0%, 50%, dan 100%. Tujuan dibuat 3 jenis campuran dengan kadar yang berbeda adalah agar didapatkan seperti apa grafik pengaruh limbah beton tersebut terhadap campuran aspal AC-WC.

Sebelum penelitian ini dilakukan, telah banyak dilakukan penelitian mengenai penggunaan limbah beton sebagai material konstruksi. Hasil penelitian sebelumnya adalah nilai kuat tekan CTB limbah beton umur 7 hari memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, sedangkan CTB umur 28 hari tidak memenuhi. (Rahman, 2014), nilai kadar limbah beton pada campuran AC-WC gradasi kasar yang optimum adalah sebesar 2,5% terhadap total agregat kasar. (Andhikatama, 2013), dan

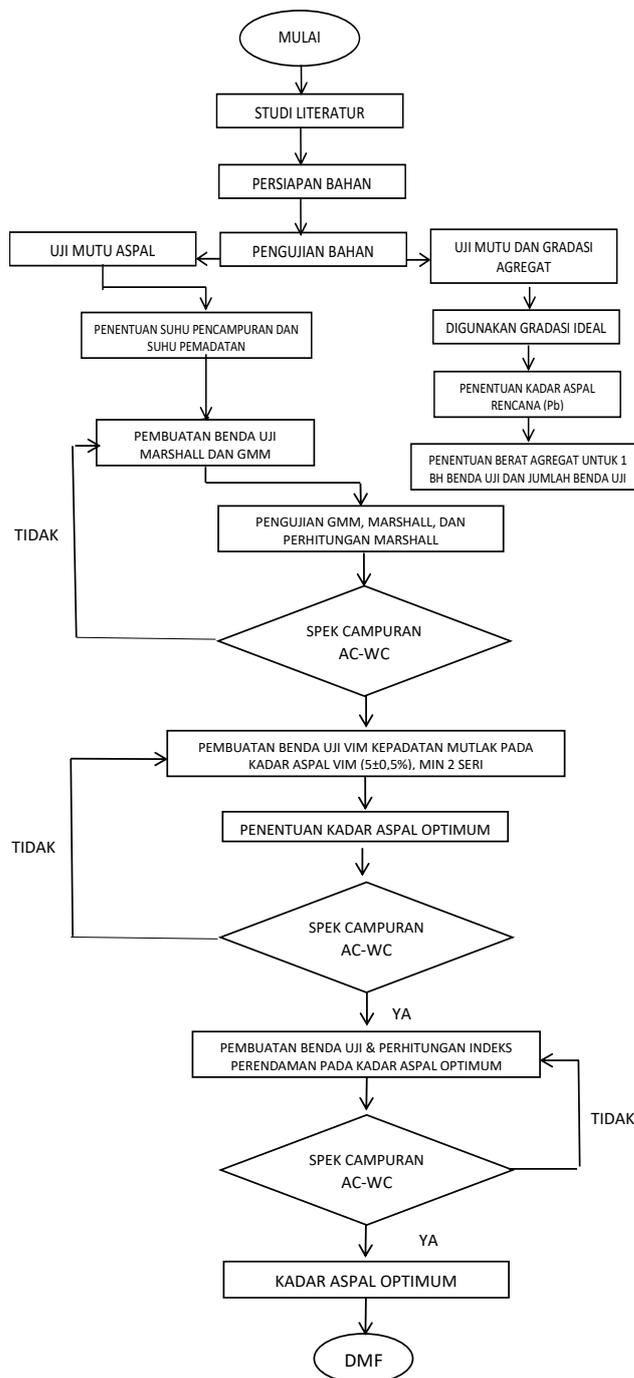
nilai kadar limbah beton pada campuran *Hot Roller Sheet Base* yang optimum adalah sebesar 10% terhadap total agregat kasar (Rahmad, 2016).

2. TUJUAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Mengetahui pengaruh penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar terhadap kinerja karakteristik campuran aspal AC-WC.
- Untuk mengetahui kadar limbah beton optimum yang dapat digunakan sebagai substitusi agregat kasar pada campuran aspal AC-WC.

3. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Seperti terlihat pada Gambar 1., metodologi campuran yang digunakan adalah dengan metode kepadatan mutlak sampai mendapatkan kadar aspal optimum. Langkah pertama yang dilakukan adalah persiapan bahan. Persiapan bahan yaitu pembobokan limbah beton bekas pengujian, pembelian material agregat dan aspal dan pembelian bahan lain yang dibutuhkan. Setelah itu, material agregat dan aspal tersebut diuji dan harus sesuai dengan spesifikasi. Pada pengujian agregat yang dilakukan adalah uji berat jenis dan penyerapan air, uji abrasi, dan uji kadar lolos saringan No. 200 dan pada pengujian aspal yang dilakukan adalah uji penetrasi, uji berat jenis aspal, uji titik lembek, dan uji viskositas. Gradasi yang digunakan pada adalah gradasi yang ideal, yaitu nilai % lolos kumulatif adalah nilai tengah dari Spesifikasi Umum lolos kumulatif seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Gradasi Ideal

Ukuran Ayakan (mm)	Spek Umum Lolos Kumulatif	% Lolos Kumulatif (Ideal)	% Tertahan
19	100	100	0
12,5	90 - 100	95	5
9,5	77 - 90	83,5	16,5
4,75	53 - 69	61	39
2,36	33 - 53	43	57
1,18	21 - 40	30,5	69,5
0,6	14 - 30	22	78
0,3	9 - 22	15,5	84,5
0,15	6 - 15	10,5	89,5
0,075	4 - 9	6,5	93,5

Untuk mendapatkan nilai yang mendekati kadar aspal optimum digunakan rumus kadar aspal rencana (Pb) di bawah ini.

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler) + K$$

Di mana:

Pb = kadar aspal perkiraan

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 8

FA = agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200

Filler = agregat halus lolos saringan No. 200

Nilai konstanta sekitar 0,5 - 1,0 untuk AC dan HRS.

Perkiraan awal kadar aspal rencana campuran diperlukan agar benda uji yang dibuat tidak banyak. Membuat benda uji dengan kadar aspal menggunakan rumus di atas, dibulatkan menjadi 0,5%, dengan tiga kadar aspal di atas dan dua kadar aspal di bawah kadar aspal perkiraan awal yang sudah dibulatkan mendekati 0,5% ini.

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K$$

$$\% CA = 57 \%$$

$$\% FA = 36,5 \%$$

$$\% FF = 6,5 \%$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= 0,035 (57\%) + 0,045(36,5\%) + 0,18(6,5\%) + K \\
 &= 4,81 + K \text{ (diambil } K=0,69 \text{ } 0,5 < K < 1) \\
 &= 5,50\%
 \end{aligned}$$

Maka kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; dan 7,0%.

Berat total benda uji yang digunakan adalah 1150 gram dan 2500 gram. Berat substitusi agregat ditentukan berdasarkan masing-masing ukuran ayakan. Perhitungan berat masing-masing agregat terdapat pada Tabel 1. Benda uji yang telah dibuat harus diuji dengan pengujian GMM (*Gravity Maximum of Mix*) dan Marshall. Pengujian GMM dan Marshall dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik campuran. Karakteristik campuran aspal meliputi stabilitas, *flow*, stabilitas aspal, VIM, VMA, dan VFB. Lalu penentuan kadar aspal optimum dapat dilakukan dengan pendekatan kepadatan mutlak. Setelah itu, dilakukan pengujian indeks perendaman aspal beton sesuai dengan kadar aspal optimum sehingga didapatkan nilai stabilitas sisa setelah benda uji dilakukan perendaman selama 24 jam dibagi dengan nilai stabilitas sisa setelah benda uji dilakukan perendaman selama 30 menit pada suhu 60°C.

4. TINJAUAN PUSTAKA

4.1 Campuran Beraspal Panas dengan Gradasi Rapat

Bahan penyusun campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) adalah sebagai berikut.

a. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk campuran adalah yang tertahan No. 4 (4,75 mm) terdiri dari dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, keras, awet dan bebas dari bahan lain yang mengganggu seperti lempung. Agregat kasar harus mempunyai angularitas dan harus memenuhi spesifikasi. Agregat yang digunakan harus dari sumber dan jenis yang sama untuk menjamin keseragaman campuran. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

b. Agregat Halus

Agregat halus dari sumber mana pun harus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm). Agregat halus yang digunakan untuk campuran aspal harus bersih, keras, dan bebas dari gumpalan-gumpalan lempung dan bahan-bahan lain yang dapat mengganggu. Agregat halus dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

c. Bahan pengisi (*Filler*)

Campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi minimal 1% dan maksimal 2% terhadap berat total agregat. Bahan pengisi yang digunakan pada penelitian ini adalah semen. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Adapun tujuan dari aspal modifikasi menurut (POLSRI, 2011) adalah sebagai berikut.

1. Sifat-sifat aspal alami yang kurang tahan terhadap keadaan iklim sekitar yang sering membuat aspal lembap dan mudah rusak
2. Aspal pada temperatur rendah tidak rapuh/getas sehingga mengurangi potensi terjadinya retak (*cracking*).
3. Tidak tahan terhadap genangan air sehingga memerlukan drainase yang baik untuk mempercepat proses pengurangan jumlah genangan di aspal.
4. Mencari sifat aspal yang baru, contohnya aspal yang fleksibel (untuk jalan-jalan yang memiliki tanah yang labil dan selalu bergerak)
5. Aspal pada temperatur tinggi lebih stabil sehingga potensi terjadinya alur (*rutting*) pada perkerasan beraspal dapat dikurangi.
6. Mengurangi viskositas pada temperatur penghamparan sehingga dicapai kemudahan pelaksanaan penghamparan sekaligus pematatannya.
7. Meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran beraspal.

4.2 Limbah Beton

Limbah beton adalah material sisa beton yang sudah tidak layak dipakai lagi untuk konstruksi. Limbah beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah beton hasil pengujian praktik di POLBAN banyak yang tidak terpakai dan hanya menjadi sampah sehingga menghabiskan lahan, oleh karena itu makan dilakukan substitusi limbah beton untuk campuran aspal AC-WC.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Mutu Aspal

Hasil pengujian mutu aspal dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Mutu Aspal

No	Jenis Pengujian	Hasil	Standar Uji: Spesifikasi	Ket
1	Penetrasi Aspal	55,95	SNI 06-2456-1991: Pen 40 (40 - 59)	Sesuai
2	Berat Jenis Aspal	1,04	SNI 06-2488-1991: ≥1 untuk Pen 40	Sesuai
3	Titik Lembek Aspal	50,81°C	SNI 06-2434-1991: Pen 40 (51 - 63°C)	Sesuai
4	Viskositas	$\frac{125,88^\circ\text{C}}{117,17^\circ\text{C}}$	-	-

5.2 Hasil Pengujian Mutu Agregat

Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Mutu Agregat

No	Jenis Pengujian	Spl.	Scr.	Ab.Bt.	Fill	Standar Uji: Spesifikasi	Ket
1	Berat Jenis SSD	2,57	2,56	2,5		SNI 03-1969-1990 (Agregat Kasar): Peny. Air: ≤ 3% SNI 03-1970-1990 (Agregat Halus): Peny. Air: ≤ 10% SNI 15-2049-2004 (Semen): 3,00 - 3,20	-
	Berat Jenis Kering Oven	2,48	2,47	2,36			Sesuai
	Berat Jenis Semu	2,72	2,73	2,76			Sesuai
	Berat Jenis Semen				3,01		
	Penyerapan Air	0,4	0,41	0,62			
2	Abrasi 100 put	5,64				SNI 2417:2008: ≤ 6%	Sesuai
		28,0 9				SNI 2417:2008: ≤ 30%	Sesuai
3	Kadar Lolos Ayakan No. 200	0,56	3,07	4,7		SNI 03-4142-1996: ≤ 2% (agr. kasar), ≤ 10% (agr. halus)	Untuk <i>split</i> dan abu batu sesuai dengan spek, sedangkan <i>screen</i> tidak sesuai (harus dilakukan pencucian sebelum digunakan)

(Spesifikasi Umum Binamarga Tahun 2010 Revisi 3)

5.3 Karakteristik Campuran Aspal dengan Substitusi Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar

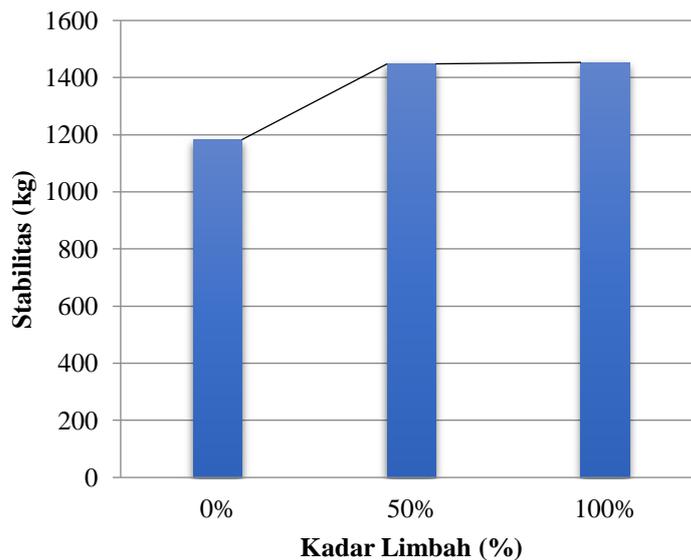
Pengujian GMM dan Marshall dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik campuran. Karakteristik campuran aspal meliputi stabilitas, *flow*, stabilitas aspal, VIM, VMA, dan VFB. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada Kadar Aspal Optimum didapatkan hasil seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Benda Uji

Karakteristik	Spesifikasi	Pada Kadar Aspal Optimum		
		0 % Limbah	50 % Limbah	100 % Limbah
Stabilitas	min. 800 kg	1182,6 kg	1448,2 kg	1453,2 kg
Flow	2 - 4 mm	3,94 mm	2,15 mm	2,08 mm
Stabilitas Sisa	min 90%	106%	94%	74%
VIM	3 - 5 %	4,21%	4,94%	6,58%
VMA	min. 15 %	15,54%	15,83%	16,95%
VFB	min 65 %	89,07%	88,27%	87,21%

(Spesifikasi Umum Binamarga Tahun 2010 Revisi 3)

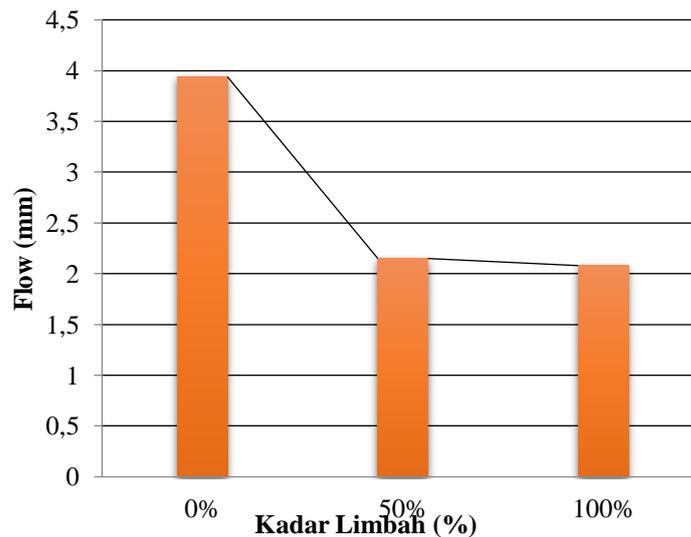
a. Stabilitas



Gambar 2. Grafik Pengaruh Limbah Beton Terhadap Nilai Stabilitas

Semakin tinggi kadar limbah beton yang digunakan maka semakin tinggi nilai stabilitas campuran tersebut, seperti yang ditunjukkan grafik hubungan antara kadar limbah dan nilai stabilitas pada Gambar 2. Dengan kadar limbah 50% nilai stabilitas naik sebesar 18,34%, sedangkan dengan kadar limbah 100% nilai stabilitas naik sebesar 18,62%. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, nilai stabilitas cenderung bertambah pada kadar limbah beton yang lebih besar (Andhikatama, 2013).

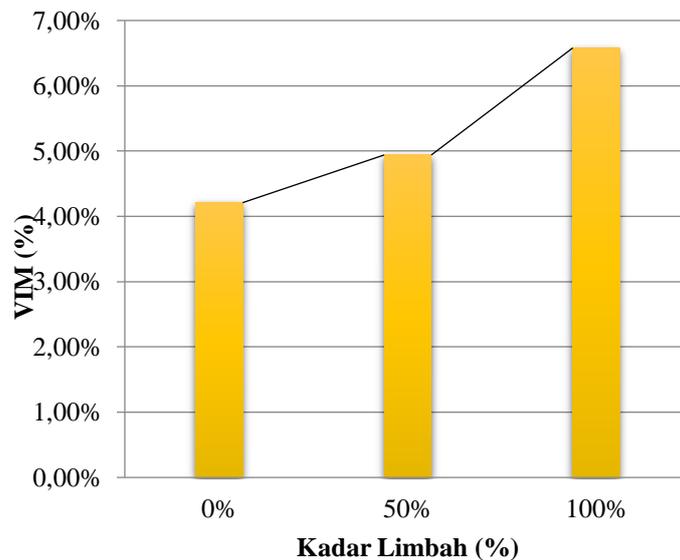
b. Flow



Gambar 3. Grafik Pengaruh Limbah Beton Terhadap Nilai Flow

Semakin tinggi kadar limbah beton yang digunakan maka semakin kecil nilai flow campuran tersebut, seperti yang ditunjukkan grafik hubungan antara kadar limbah dan nilai flow pada Gambar 3. Dengan kadar limbah 50% nilai flow turun sebesar 45,43%, sedangkan dengan kadar limbah 100% nilai flow turun sebesar 47,21%. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, nilai flow cenderung mengalami penurunan pada variasi kadar limbah beton yang lebih besar dikarenakan aspal yang diserap agregat limbah beton lebih banyak daripada kondisi campuran normal (Andhikatama, 2013).

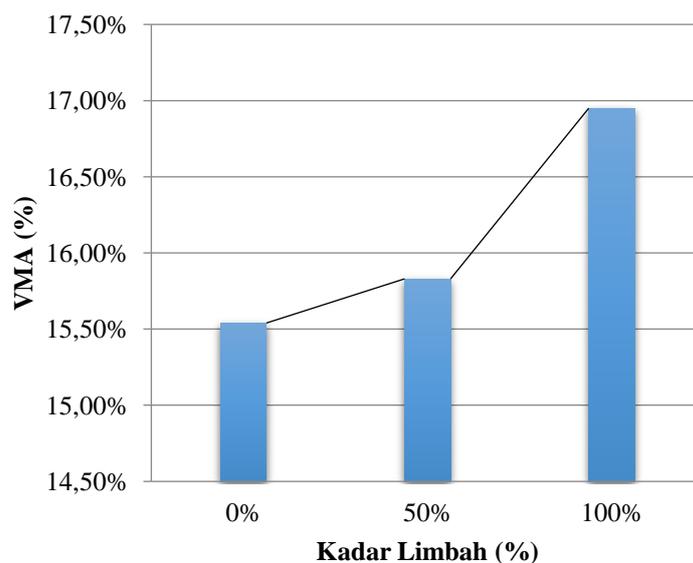
c. VIM (Voids in Mix)



Gambar 4. Grafik Pengaruh Limbah Beton Terhadap Nilai VIM

Semakin tinggi kadar limbah beton yang digunakan maka semakin tinggi nilai VIM campuran tersebut, seperti yang ditunjukkan grafik hubungan antara kadar limbah dan nilai VIM pada Gambar 4. Dengan kadar limbah 50% nilai VIM naik sebesar 14,78%, sedangkan dengan kadar limbah 100% nilai VIM naik sebesar 36,02%. Pada penelitian ini, campuran dengan kadar limbah beton 100% tidak memenuhi spesifikasi. Sesuai dengan dengan penelitian sebelumnya, terdapat nilai VIM yang tidak memenuhi spesifikasi dikarenakan limbah beton menyebabkan banyaknya rongga pada campuran (Andhikatama, 2013).

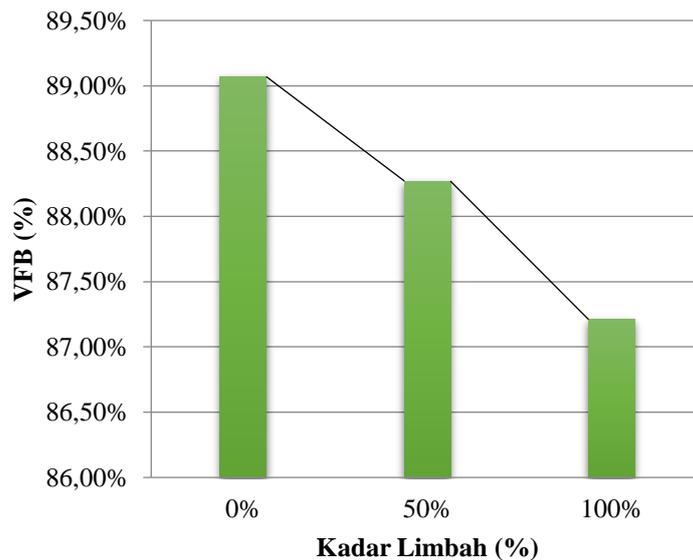
d. VMA (Voids in Mineral Aggregate)



Gambar 5. Grafik Pengaruh Limbah Beton Terhadap Nilai VMA

Semakin tinggi kadar limbah beton yang digunakan maka semakin tinggi nilai stabilitas campuran tersebut, seperti yang ditunjukkan grafik hubungan antara kadar limbah dan nilai VMA pada Gambar 5. Dengan kadar limbah 50% nilai VMA naik sebesar 18,26%, sedangkan dengan kadar limbah 100% nilai VMA naik sebesar 23,66%. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, nilai VMA cenderung semakin bertambah pada kadar limbah beton yang lebih besar dikarenakan agregat limbah beton memiliki nilai penyerapan lebih besar (Andhikatama, 2013).

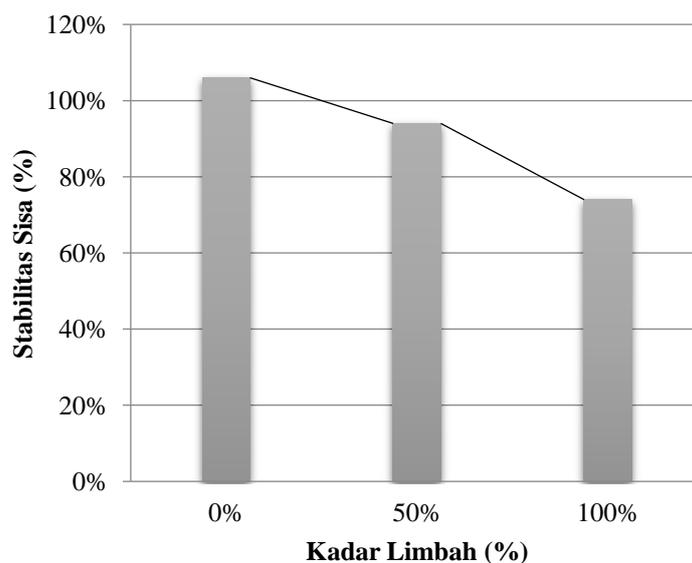
e. VFB (Voids Filled Bitumen)



Gambar 6. Grafik Pengaruh Limbah Beton Terhadap Nilai VFB

Semakin tinggi kadar limbah beton yang digunakan maka semakin kecil nilai VFB campuran tersebut, seperti yang ditunjukkan grafik hubungan antara kadar limbah dan nilai VFB pada Gambar 6. Dengan kadar limbah 50% nilai VFB turun sebesar 0,90%, sedangkan dengan kadar limbah 100% nilai VFB turun sebesar 0,90%. Sesuai dengan penelitian sebelumnya, semakin besar kadar limbah beton yang digunakan maka semakin kecil nilai VFB dikarenakan aspal yang seharusnya mengisi rongga terabsorpsi oleh agregat limbah beton yang memiliki nilai penyerapan lebih besar (Andhikutama, 2013).

f. Stabilitas Sisa



Gambar 7. Grafik Pengaruh Limbah Beton Terhadap Nilai Stabilitas Sisa

Semakin tinggi kadar limbah beton yang digunakan maka semakin kecil nilai stabilitas sisa campuran tersebut, seperti yang ditunjukkan grafik hubungan antara kadar limbah dan nilai stabilitas sisa pada Gambar 7. Dengan kadar limbah 50% nilai stabilitas sisa turun sebesar 20,75%, sedangkan dengan kadar limbah 100% nilai stabilitas sisa turun sebesar 30,19%.

Dapat dilihat dari grafik hubungan antara kadar limbah dengan karakteristik aspal bahwa nilai stabilitas meningkat. Namun, VFB menurun ketika kadar limbah semakin tinggi. Hal tersebut terjadi karena dengan adanya limbah pada campuran menyebabkan banyaknya rongga yang tidak terisi aspal. Rongga yang tidak terisi aspal menyebabkan banyaknya air yang masuk ke dalam rongga dan penyerapan air yang tinggi oleh limbah saat dilakukan perendaman. Banyaknya air yang terserap menyebabkan campuran aspal mudah hancur saat dilakukan pembebanan sehingga nilai stabilitas sisa menurun.

6. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal AC-WC mempengaruhi karakteristik aspal. Pada kadar limbah beton 50% karakteristik aspal yang meningkat yaitu nilai stabilitas 18,34%, VIM 14,78%, dan VMA 18,26%. Sedangkan pada kadar 100% karakteristik aspal yang meningkat yaitu nilai stabilitas 18,62%, VIM 36,02%, dan VMA 23,66%.
- b. Karakteristik aspal harus memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Sesuai pada Tabel 8., pada penggunaan kadar limbah beton 100% terdapat salah satu syarat karakteristik aspal yang tidak terpenuhi yaitu VIM. Sedangkan pada kadar limbah beton 50%, memenuhi semua spesifikasi karakteristik aspal. Oleh karena itu, kadar limbah beton optimum yang dapat digunakan sebagai substitusi agregat kasar pada campuran aspal AC-WC yaitu pada kadar limbah beton 50%.

7. SARAN

Dalam pelaksanaan penelitian selanjutnya mengenai limbah beton ini dapat dilakukan dengan variasi mutu limbah beton dan lebih banyak variasi kadar limbah beton. Selain itu, dapat direalisasikan untuk mengetahui kinerja campuran aspal tersebut secara langsung di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amaliah. (2019). *Laporan Praktikum Laboratorium Uji Bahan*.
- [2] Andhikutama. (2013). Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran AC-WC Gradasi Kasar.
- [3] Kementrian Pekerjaan Umum. (2010). Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Divisi 6 Perkerasan Aspal.
- [4] POLSRI. (2011). Diambil kembali dari eprints.polsri.ac.id: <http://eprints.polsri.ac.id/893/3/BAB%20II%20TINJAUAN%20PUSTAKA.pdf>
- [5] Rahmad. (2016). Pemanfaatan Limbah Beton pada Campuran Hot Rolled Sheet Base Ditinjau dari Aspek Marshall.
- [6] Rahman. (2014). Kajian Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Material CTB.

Kinerja Struktur Bangunan Dengan *Floating Columns* Terhadap Beban Gempa

Ferdin Satria Anggriawan¹, Anis Rosyidah²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, 16424

E-mail: anisrosyidah@sipil.pnj.ac.id

ABSTRAK

Konstruksi gedung bertingkat di daerah perkotaan diharuskan memiliki ruang bebas kolom karena kekurangan ruang dan juga untuk kebutuhan fungsional. Bangunan tipe *floating columns* termasuk bangunan *irregular* karena memiliki letak kolom yang tidak menerus sehingga pusat massa dan kekakuannya tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik arah horizontal maupun vertikal tidak terdistribusi secara merata. Sehingga akibat yang ditimbulkan adalah perubahan eksentrisitas lantai. Metode penelitian yang digunakan adalah metode *pushover analysis* untuk mendapatkan nilai *displacement* dan level kinerja struktur pada bangunan *floating columns*. Tahapan analisis mengacu pada SNI1726:2012, SNI1727:2013 dan SNI 2847:2013. Hasil penelitian menunjukkan nilai *displacement* pada bangunan dengan *floating columns* 3% terbesar adalah 0,7813 m dan pada *floating columns* 1% sebesar 0,4667 m. Berdasarkan nilai *performance point* pada metode *pushover analysis* didapatkan bahwa pada model *floating columns* rasio 3% berada pada kategori *damage control*, sedangkan pada model *floating columns* 1% berada pada kategori *immediate occupancy*. Hal itu berarti level kinerja belum mencapai target kinerja desain yaitu *life safety* tetapi sudah mendekati nilai kerja desain dengan level kinerja yang lebih baik.

Kata Kunci : Tingkat kinerja struktur, *floating columns*, analisis *pushover*.

ABSTRACT

Multi-story buildings in urban cities are required to have a column-free space due to a shortage of space and also for functional requirements. Building types of floating columns are irregular because they have columns that are not aligned so that the center of mass and stiffness do not coincide vertically. Weight and stiffness in both horizontal and vertical directions not evenly distributed. The research method used is the pushover analysis method to obtain the value of displacement and the level of structural performance in floating columns buildings. Step of analysis refers to SNI1726: 2012, SNI1727: 2013, and SNI 2847: 2013. The results showed the value of displacement in buildings with the most significant 3% floating columns was 0.7813 m, and at 1% floating columns was 0.4667 m. Based on the performance point value in the pushover analysis method, it found that in the floating columns model, the ratio of 3% is in the category of damage control, while in the 1% floating columns model is in the type of immediate occupancy. It means that the performance level has not yet reached the design performance target, which is life safety but is approaching the value of design work with a better level of performance.

Keywords: Level of performance; *floating columns*; *pushover analysis*

1. PENDAHULUAN

Sekarang ini sudah banyak dibuat bangunan-bangunan bertingkat tinggi dengan model struktur yang rumit dan arsitektur yang unik. Tentu saja untuk mendesain dan membuat struktur bangunan seperti itu tidaklah mudah, salah satu tipe bangunan yang bisa digunakan adalah bangunan dengan tipe *floating columns* (kolom menerus) [1].

Bangunan model *floating columns* termasuk bangunan *irregular* karena pusat massa dan kekakuan tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik arah horizontal maupun vertikal tidak terdistribusi secara merata. Masalah akan terjadi pada daerah peralihan kekakuan dari kekakuan yang besar pada bagian bawah kekakuan yang relatif kecil. Salah satu metode yang digunakan untuk analisis bangunan-bangunan bentuk khusus dengan analisis *pushover* [2].

Analisis *pushover* (ATC 40) merupakan salah satu komponen *performance based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisis non-linier berbasis komputer untuk mendapatkan perilaku inelastis struktur dari berbagai macam intensitas gempa, dengan cara memberikan pola beban statik yang besarnya ditingkatkan secara bertahap sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau sampai bangunan tersebut mengalami keruntuhan. Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa bumi [3]. Hasil akhir dari analisis ini berupa kurva kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan. Dari kurva kapasitas tersebut dapat diketahui level kinerja dari struktur gedung yang dianalisis [4].

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dibahas adalah respons struktur bangunan dengan *floating columns* terhadap beban gempa. Hasil studi ini untuk mendapatkan nilai *displacement* dan level kinerja struktur bangunan dengan *floating columns* berdasarkan ATC-40 menggunakan analisis *pushover*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Floating Columns*

Istilah kolom menerus merupakan kolom yang memiliki keunikan tersendiri karena posisi dari kolom yang tidak sejajar dengan kolom dibawahnya. Kolom tersebut hanya bertumpu pada balok struktur yang merupakan komponen horizontal di bawahnya. Balok pada gilirannya mentransfer beban ke kolom lain di bawahnya [5]. Ada banyak proyek konstruksi yang menggunakan model *floating columns* ini. Bangunan model ini biasanya memerlukan ruangan yang cukup luas sehingga beberapa kolom yang seharusnya ada dihilangkan[6].

2.2 *Pushover Analysis*

Pushover Analysis merupakan suatu metode analisis statik nonlinier dengan menempatkan beban pada pusat massa masing-masing lantai. Besarnya beban ditingkatkan secara bertahap sampai melampaui batasnya yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama pada struktur bangunan kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastis atau runtuh [7]. *Pushover analysis* ini bertujuan mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu menghasilkan kurva kapasitas yang menggambarkan antara gaya geser dan perpindahan pada bagian teratas struktur dan juga memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi [8].

2.3 Kinerja Struktur

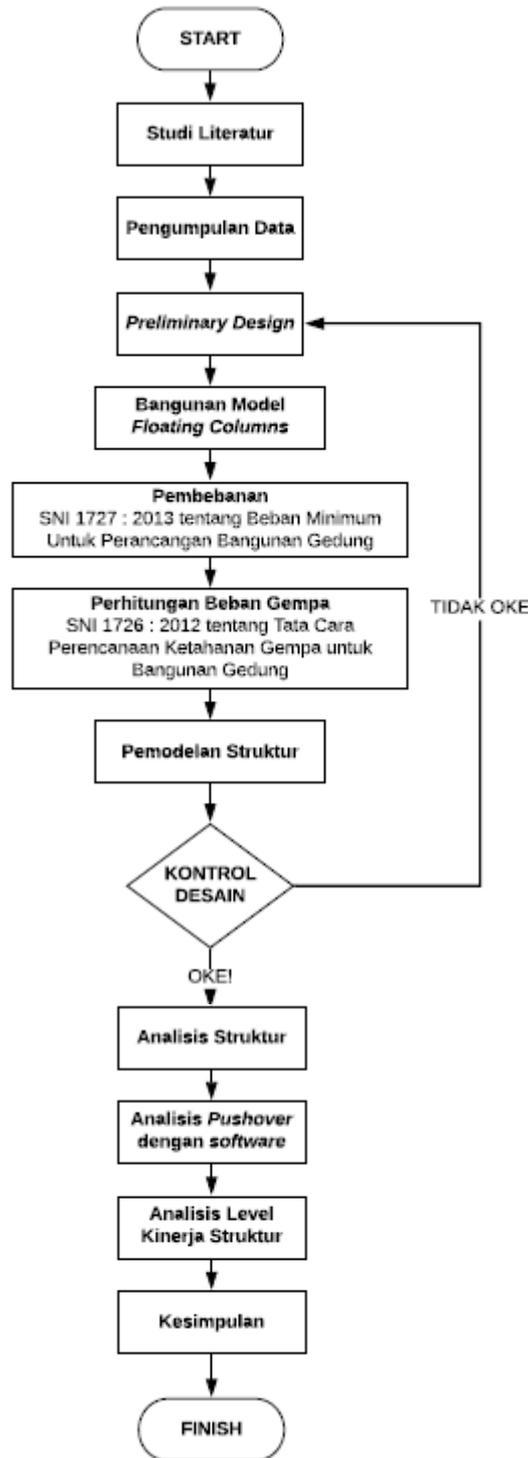
Capacity Spectrum (ATC-40)

Capacity spectrum ialah metode yang menentukan tingkat kinerja (*performance level*) yang diharapkan setelah struktur dilanda gempa dengan intensitas tertentu dan dari *output*-nya dapat diperoleh parameter titik kinerja struktur dari bangunan tersebut [9]. Konsep desain kinerja struktur metode *capacity spectrum* pada dasarnya merupakan prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan peralihan aktual struktur gedung. Peralihan aktual yang didapatkan dari hasil ini menunjukkan besar simpangan struktur. Perbandingan antara simpangan struktur terhadap tinggi total struktur menunjukkan kinerja struktur. Menurut ATC-40, kinerja bangunan terhadap beban gempa dapat dibagi menjadi 6 kategori level struktur, yaitu [10], [11]:

1. *Immediate Occupancy*, SP-1: Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi di mana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
2. *Damage Control*, SP-2: Dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.
3. *Life Safety*, SP-3: Bila terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dapat dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadang kala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
4. *Limited Safety*, SP-4: Kondisi bangunan tidak sebaik level *life safety* dan tidak seburuk *level structural stability*, termasuk ketika level *life safety* tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.
5. *Structural Stability*, SP-5: Level ini merupakan batas di mana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur dan non struktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.
6. *Not Considered*, SP-6: Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

3. METODE PENELITIAN

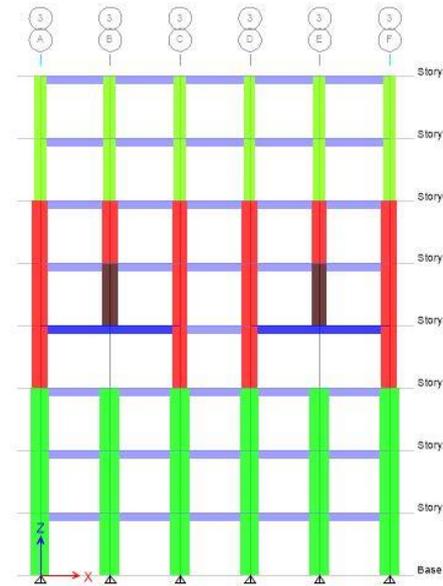
Penelitian ini berupa studi perancangan gedung model *floating columns*, untuk menentukan nilai *displacement* dan level kinerja struktur. Diagram alir kajian ini dapat dilihat pada gambar 1, berikut [12], [13], [14]:



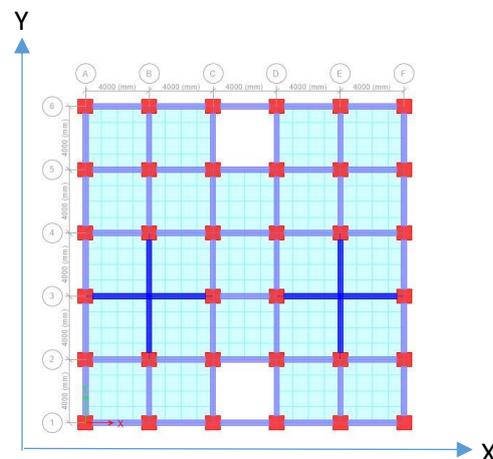
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Data Perencanaan

Obyek dalam studi berupa bangunan model *floating columns (FC)* dengan luas 400 m² dan tinggi 28,8 m (8 lantai). Denah gedung dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 2. Tampak Samping *Floating Columns (FC)*



Gambar 3. Tampak Atas *Story 4 Floating Columns (FC)*

Adapun data-data yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Fungsi Bangunan : Perkantoran
2. Jenis Struktur : Beton Bertulang
3. Sistem Struktur : SRPMK
4. Jenis Tanah : Tanah Sedang
5. Lokasi Bangunan : Depok, Jawa Barat
6. Mutu Beton : 35 MPa
7. Mutu Baja : 400 MPa
8. Dimensi Struktur :
 - Pelat Lantai : 150 mm
 - Pelat Atap : 150 mm
 - Balok :
 - Balok Struktur : 500x350 mm
 - Balok Transfer : 500x350 mm
 - Kolom :
 - Lantai 1-3 : 1100x1100 mm
 - Lantai 4-6 : 900x900 mm
 - Lantai 7-8 : 700x700 mm

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Displacement

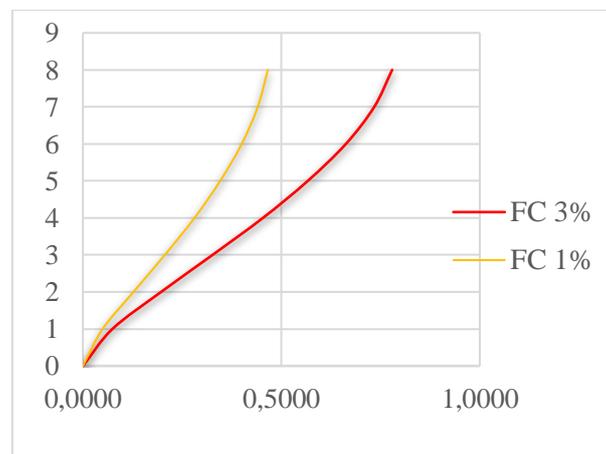
Besarnya *displacement* pada bangunan dengan *floating columns* disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. *Displacement* FC 3%

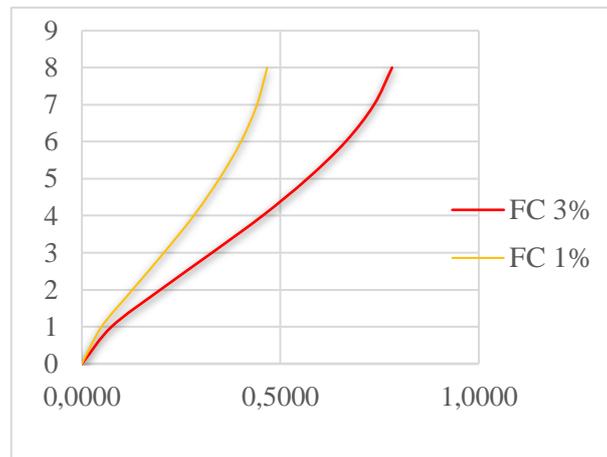
Lantai	Tinggi m	Lantai	FC 3%	
			Arah X m	Arah Y m
Story8	28,8	8	0,7791	0,7813
Story7	25,2	7	0,7339	0,7359
Story6	21,6	6	0,6625	0,6643
Story5	18	5	0,5664	0,5680
Story4	14,4	4	0,4535	0,4550
Story3	10,8	3	0,3265	0,3276
Story2	7,2	2	0,1969	0,1977
Story1	3,6	1	0,0743	0,0746
Base	0	0	0	0

Tabel 2. *Displacement* FC 1%

Lantai	Tinggi m	Lantai	FC 1%	
			Arah X m	Arah Y m
Story8	28,8	8	0,4660	0,4667
Story7	25,2	7	0,4404	0,4411
Story6	21,6	6	0,4001	0,4007
Story5	18	5	0,3458	0,3463
Story4	14,4	4	0,2811	0,2815
Story3	10,8	3	0,2063	0,2066
Story2	7,2	2	0,1273	0,1274
Story1	3,6	1	0,0494	0,0495
Base	0	0	0	0



Gambar 4. *Displacement* arah X



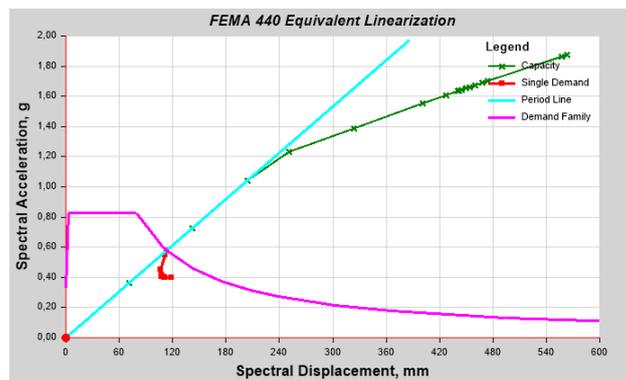
Gambar 5. Displacement arah Y

Dari data Tabel 1 dan 2 serta Gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa nilai *displacement* FC 1% lebih kecil dibandingkan dengan FC 3%. Namun nilai tersebut masih memenuhi persyaratan minimum pada Tabel 16 SNI 1726:2012 pasal 7.12.1 yang mana tidak melebihi simpangan antar lantai ijin yaitu sebesar 0,012 *hsx*.

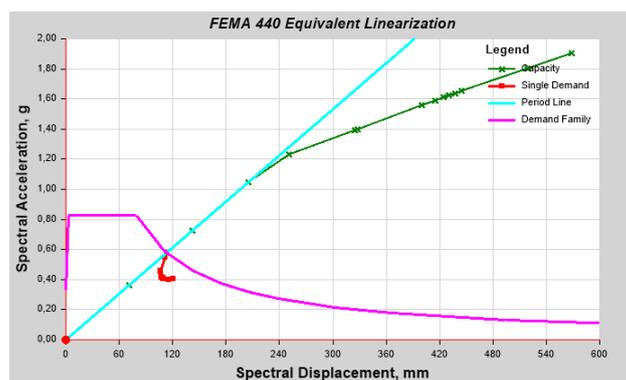
4.2 Analisis Pushover

a. Level Kinerja Metode *Displacement Coefficient (FEMA 440)*

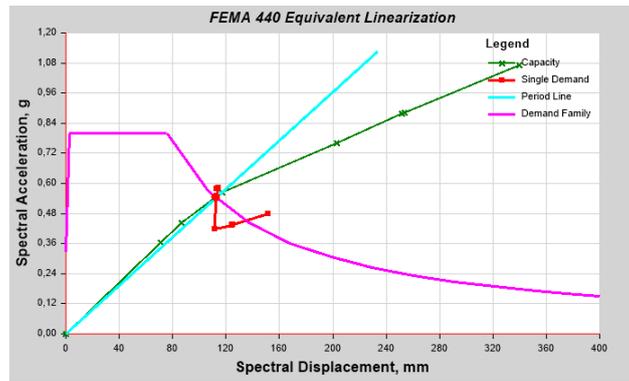
Metode FEMA 440 sudah *built in* pada *software* analisis struktur. Hasil evaluasi kinerja sesuai FEMA 356 dengan metode *displacement coefficient*, secara lengkap ditampilkan dalam Gambar 6 – Gambar 9, sebagai berikut:



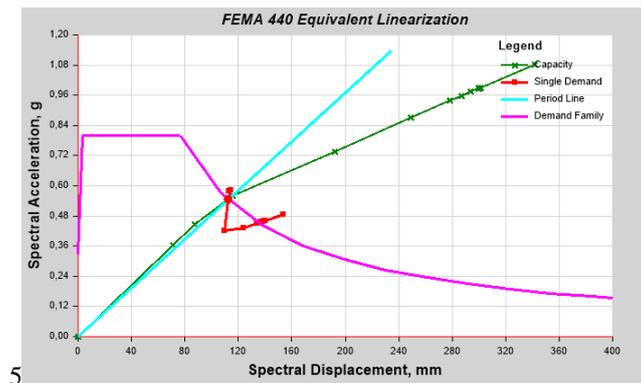
Gambar 6. Spektrum Kapasitas FC 3% arah x



Gambar 7. Spektrum Kapasitas FC3% arah y



Gambar 8. Spektrum Kapasitas FC 1% arah x



Gambar 9. Spektrum Kapasitas FC 1% arah y

Dari grafik spektrum kapasitas pada Gambar 6 sampai Gambar 9 didapatkan nilai *performance point* berdasarkan *FEMA 440*, yang digunakan untuk menentukan level kinerja struktur pada masing-masing model bangunan yang akan disajikan pada Tabel 3.

b. Level Kinerja Metode *Capacity Spectrum (ATC – 40)*

Metode ini dapat secara langsung diaplikasikan pada *software*, *input* yang diperlukan adalah dari kurva respons spektrum rencana SNI 1726:2012 untuk wilayah Kota Depok, Jawa Barat yaitu $C_a = 0,3328$ dan $C_v = 0,505$. Hasil evaluasi kinerja masing-masing tipe bangunan gedung ditampilkan dalam Tabel 3

Tabel 3. Level Kinerja berdasarkan ATC-40

Level Kinerja	Parameter	FC 3%	FC 1%
Arah - X	Target Perpindahan	0,456	0,584
	<i>Drift</i> aktual	0,016	0,01
	Level Kinerja	<i>Damage Control</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Arah - Y	Target Perpindahan	0,306	0,340
	<i>Drift</i> aktual	0,016	0,01
	Level Kinerja	<i>Damage Control</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

Nilai dari target peralihan yang ditampilkan pada Tabel 3, pada bangunan FC 1% untuk arah x dan y berada di *range* 0,01 – 0,02 sehingga dapat disimpulkan bahwa berdasarkan batas simpangan yang disyaratkan oleh ATC-40 level kinerja gedung pada saat target perpindahan tercapai adalah *damage control*. Kinerja struktur dengan level *damage control* merupakan transisi antara *immediate occupancy* dan *life safety*, di mana bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

Sementara pada bangunan FC 3% untuk arah x dan y berada di $range \leq 0,01$ sehingga dapat disimpulkan bahwa berdasarkan batas simpangan yang disyaratkan oleh ATC-40 level kinerja gedung pada saat target perpindahan tercapai adalah *immediate occupancy*. Kinerja struktur kategori *immediate occupancy*, berarti bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain (1) Nilai *displacement* maksimum dengan menggunakan analisis *pushover* arah x dan arah y pada bangunan dengan *floating columns* 3% sebesar 0,7359 m dan bangunan dengan *floating columns* 1% sebesar 0,4667. (2) Level Kinerja Struktur pada bangunan dengan *floating columns* 3% berada pada kategori *damage control* sehingga bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa manusia sangat kecil, sedangkan pada bangunan dengan *floating columns* 1% berada pada kategori *immediate occupancy* sehingga bangunan tersebut masih aman saat terjadi gempa bumi dan risiko korban jiwa atau kegagalan struktur tidak terlalu berarti. Hal itu berarti level kinerja pada *floating columns* 3% dan 1% belum mencapai target kinerja desain yaitu *life safety* tetapi mendekati nilai kinerja desain dengan level kinerja yang lebih baik..

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada P3M Politeknik Negeri Jakarta yang telah menyediakan program Bantuan Tugas Akhir Mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Tondi and F. Hidayat, "Analisa Perbandingan Simpangan Struktur di Zona Gempa Tinggi," pp. 9–17, 2012.
- [2] A. Shrivastav and A. Patidar, "Seismic Analysis of Multistorey Buildings having Floating Columns," *SSRG Int. J. Civ. Eng. (SSRG - IJCE)*, vol. 5, no. 5, pp. 2–7, 2018.
- [3] W. Dewobroto, "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover," *Semin. Bid. Kaji.*, p. 28, 2005.
- [4] R. Andhika Kadarusman, A. Smd, and A. Wibowo, "Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Gedung A Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kertosono," 2012.
- [5] V. Sharma and S. Dashore, "Static and Dynamic Analysis of Multistorey Buildings Having Floating Columns," *Int. Res. J. Engineering Technol.*, vol. 05, no. 12, pp. 828–832, 2018.
- [6] K. Maitra, "Evaluation of Seismic Performance of Floating Column Building," *Am. J. Civ. Eng.*, vol. 6, no. 2, p. 55, 2018.
- [7] S. Pangemanan and H. G. Mantiri, "Analisis Pushover Perilaku Seismik Struktur Bangunan Bertingkat : Studi Kasus Bangunan Ruko," in *Prosiding Simposium II*, 2017, vol. 40, no. September, pp. 978–979.
- [8] F. Hasdanita, M. Afifuddin, and M. Muttaqin, "Analisis Pushover Terhadap Respon Struktur Dengan Menggunakan Base Isolator," *J. Arsip Rekayasa Sipil dan Perenc.*, vol. 1, no. 1, pp. 169–178, 2018.
- [9] Y. A. Pranata, "Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang dengan Pushover Analysis," vol. 3, no. 1, pp. 41–52, 2016.
- [10] Applied Technology Council, "ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings." California, p. 334, 1996.
- [11] H. L. Purba, "Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakteraturan Horizontal," vol. 2, no. 4, 2014.
- [12] SNI 1726:2012, "SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," vol. 15, no. 3, pp. 316–325, 2003.
- [13] SNI 03-2847, "SNI-03-2847-2013 Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung," *Bandung Badan Stand. Indones.*, 2013.
- [14] SNI-1727-2013, "SNI-1727-2013 Perencanaan-Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung," 2013.

Pedoman Penulisan Jurnal POTENSI

Font: Times
Size: 12pt
Style: Bold

Penulis A¹, Penulis B²

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : authora@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung 40116
E-mail : authorb@itb.ac.id

Title
Font: Times
Size: 16pt
Style: Bold

Font: Times
Size: 9pt
Style: Italic

ABSTRAK

Font: Times
Size: 10pt
Style: Normal

Abstrak makalah menyampaikan pentingnya publikasi/penelitian yang dilakukan secara ringkas dan logis. Abstrak adalah sinopsis dari studi asli yang membahas masalah penelitian, informasi dan metode yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut, hasil, diskusi, dan kesimpulan. Jumlah kata dalam abstrak tidak melebihi **200** kata. Perujukan referensi harus dilakukan pada naskah dan tidak ada kutipan referensi pada abstrak.

Font: Times
Size: 10pt
Style: Italic

Kata Kunci: maks. 6 kata

ABSTRACT

Font: Times
Size: 10pt
Style: Normal

Penulisan abstrak juga dalam bentuk Bahasa Inggris dengan ketentuan seperti pada penulisan abstrak dalam Bahasa Indonesia.

Font: Times
Size: 10pt
Style: Italic

Kata Kunci: maks. 6 kata

1. PENDAHULUAN (Times 10, Style: Bolt)

Panduan ini memberikan penjelasan untuk membantu penulis dalam mempersiapkan makalah untuk dipublikasikan pada Jurnal POTENSI 2019, sehingga terdapat konsistensi penulisan antar makalah. Instruksi ini memberikan panduan tentang tata letak, gaya selingkung, ilustrasi, dan referensi serta berfungsi sebagai model bagi penulis untuk meniru. Tanpa mengikuti spesifikasi ini, makalah yang tidak memenuhi standar yang ditetapkan tidak akan dipublikasikan.

2. GAYA NASKAH

Naskah harus dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dan tersaji pada kertas berukuran **A4 (210 mm x 297 mm)** yang ditulis dalam format **1(satu) KOLOM** dengan margin **2,5** cm dari atas dan bawah, dan **1,5** cm dari kiri dan kanan.

Judul lengkap naskah harus dituliskan pada tengah-tengah halaman pertama. Hal tersebut diikuti oleh abstrak yang dituliskan **ABSTRAK**, kata kunci yang dituliskan **Kata Kunci** dan tidak lebih dari **enam kata**. Teks harus diketik dengan **"SPASI TUNGGAL"**, menggunakan font yang sama dengan yang digunakan dalam teks (**Times, 10 point**). Paragraf harus dipisahkan dengan spasi tunggal. Setiap naskah tidak boleh **melebihi "SEPULUH (10) HALAMAN"** termasuk ilustrasi, tabel, dan referensi. Makalah harus diserahkan sebagai dokumen **"WORD"**.

2.1 Bagian dan Sub-bagian

Bagian dan sub-bagian harus diberi nomor dan judul, sebagai berikut 1, 2, ...dll dan 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 2.2.1, dst. Huruf besar harus digunakan untuk judul bagian. Untuk sub-bagian, huruf pertama dari setiap kata harus dalam huruf kapital dan diikuti dengan huruf kecil.

2.1.1 Identifikasi

Harap dihindari penggunaan *header*, *footer* atau nomor halaman dalam makalah yang diajukan. Hal tersebut akan ditambahkan pada publikasi akhir dalam jurnal oleh Panitia.

2.2 Singkatan dan Akronim

Tentukan penggunaan singkatan dan akronim pertama kali digunakan dalam teks, bahkan setelah didefinisikan dalam Abstrak. Singkatan seperti IEEE, SI, MKS, CGS, ac, dc, dan rms tidak perlu didefinisikan. Singkatan yang menggabungkan periode seharusnya tidak menggunakan spasi: menulis “CNRS.” Tidak “C.NRS”. Jangan gunakan singkatan pada judul kecuali apabila tidak dapat dihindari.

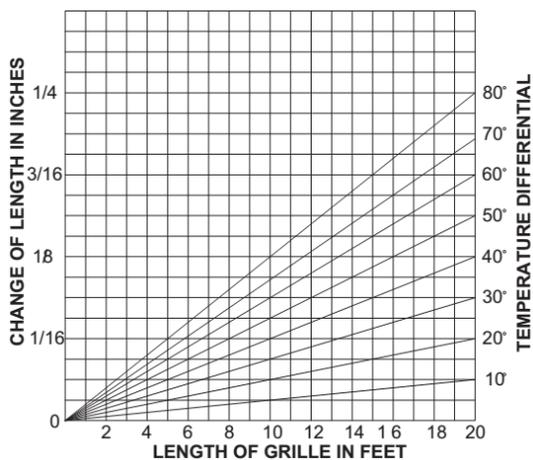
3. TABEL DAN GAMBAR

Penomoran harus diberikan pada “Gambar” dan “Tabel”, misalnya, Gambar 1, Gambar 2, dst. Nomor gambar dan judul harus ditempatkan dibawah gambar, dan nomor tabel serta judulnya ditempatkan pada bagian atas tabel. Huruf pertama dari judul harus ditempatkan dibagian tengah halaman antara margin kiri dan kanan. Tabel, ilustrasi dan teks yang sesuai sedapat mungkin ditempatkan pada halaman yang sama. Apabila tidak, maka dapat ditempatkan langsung pada halaman berikutnya. Ukurannya harus lebih kecil dari area yang tersedia.

Font: Times
Size: 8-10 pt

Tabel 1. Center table captions above the tables.

solvent	T (°C)	K ₂ (L mol ⁻¹)
CDCl ₃	5	21
CDCl ₃	10	57
CHCl ₃	20	74
CHCl ₃	40	58



Gambar 1. Penjelasan ditempatkan tepat dibawah gambar

4. PERSAMAAN

Ketika penomoran persamaan, tempatkan nomor yang sesuai dalam tanda kurung dan posisikan nomor tersebut dikanan kolom penulisan. Persamaan **HARUS DIKETIK** dan **BUKAN BERUPA COPY (SCANN)** dari formula original.

Contoh:

$$Z = c_0 + c_1 X_1 + c_2 X_2 + c_3 X_3 + c_4 X_4 \quad (1)$$

5. KUTIPAN DAN REFERENSI

Nomor kutipan secara berurutan dituliskan dalam kurung siku [1]. Kalimat baca diikuti kurung [2]. Lihat hanya untuk nomor referensi, seperti pada [3]. Jangan gunakan “Ref. [3]” atau referensi [3]. Kecuali pada awal kalimat “Referensi [3] menunjukkan”. Secara umum, referensi ditulis dengan menggunakan gaya atau *style IEEE*.

Harap dicatat bahwa referensi pada akhir dokumen ini adalah gaya perujukan yang diharapkan. Berikan semua nama penulis, jangan menggunakan “et.al.”. Kecuali ada enam penulis atau lebih. Gunakan spasi setelah inisial penulis. Makalah yang tidak diterbitkan, bahkan apabila telah diajukan untuk publikasi, harus disebut “unpublished” [4]. Makalah yang diterima untuk publikasi harus disebut sebagai “in press” [5].

Huruf besar hanya kalimat pertama dalam judul makalah, kecuali untuk kata benda dan simbol elemen. Untuk makalah yang diterbitkan dalam jurnal terjemahan, harapdiberi kutipan Inggris lebih dahulu, diikuti dengan kutipan asli bahasa asing [6].

6. DISKUSI

Gunakan angka nol sebelum titik desimal: “0.25,” bukan “.25.” Gunakan “cm³,” bukan “cc.” Mengindikasikan dimensi sampel sebagai “0.1 cm x 0.2 cm”, tidak “0.1 x 0.2 cm”. Singkatan untuk “detik” adalah “s” dan bukan “sec”. Ketika mengekspresikan berbagai nilai, menulis “7 sampai 9” atau “7-9”, tidak “7~9”. Mengeja unit ketika terdapat dalam teks “.... a few henries,” bukan “.... a few H”.

7. KESIMPULAN

Akhirnya, andalah yang bertanggung jawab terhadap bahasa pada makalah, editor tidak akan memeriksanya. Lakukanlah pemeriksaan pada ejaan dan tata bahasa. Hal tersebut sudah tersedia dalam perangkat lunak Word. Karena bahasa Indonesia adalah bahasa asli anda, maka HARUS sudah tidak ada masalah, sehingga perlu dilakukan cek dan recek.

Awalan seperti “non,” “sub,” “mikro,” “multi,” dan “ultra” bukanlah kata-kata independen, kata tersebut haruslah bergabung dengan kata-kata yang dimodifikasi, biasanya tanpa tanda hubung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan secara jelas, kepada siapa ditujukannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. Beebe, “Signal conversion (Book style with paper title and editor),” in *Biomedical Digital Signal Processing*, W. J. Tompkins, Ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1993, ch. 3, pp. 61–74.
- [2] M. Akay, *Time Frequency and Wavelets in Biomedical Signal Processing* (Book style). Piscataway, NJ: IEEE Press, 1998, pp. 123–135.
- [3] G. B. Gentili, V. Tesi, M. Linari, and M. Marsili, “A versatile microwave plethysmograph for the monitoring of physiological parameters (Periodical style),” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 49, no. 10, pp. 1204–1210, Oct. 2002.
- [4] V. Medina, R. Valdes, J. Azpiroz, and E. Sacristan, “Title of paper if known,” unpublished.
- [5] E. H. Miller, “A note on reflector arrays (Periodical style—Accepted for publication),” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, in press.
- [6] T. Menendez, S. Achenbach, W. Moshage, M. Flug, E. Beinder, A. Kollert, A. Bittel, and K. Bachmann, “Prenatal recording of fetal heart action with magnetocardiography” (in German), *Zeitschrift für Kardiologie*, vol. 87, no. 2, pp. 111–8, 1998.



JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI BANDUNG (POLBAN)



<https://jurnal.polban.ac.id/potensi>